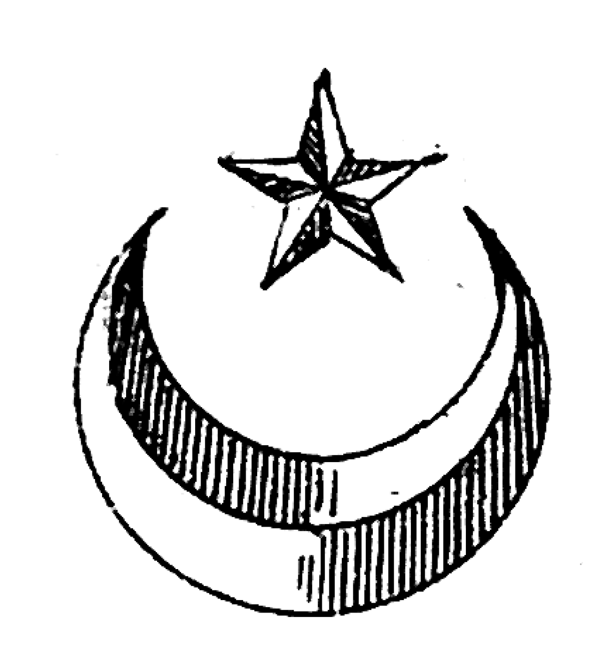




دروس
الأيدروستاتيك

الجارى تدريسها لتلامذة السنة الثانية من مدرسة المهندسخانة الخديوية

بمعـــرفة

حضرة احمد بك ذهنى

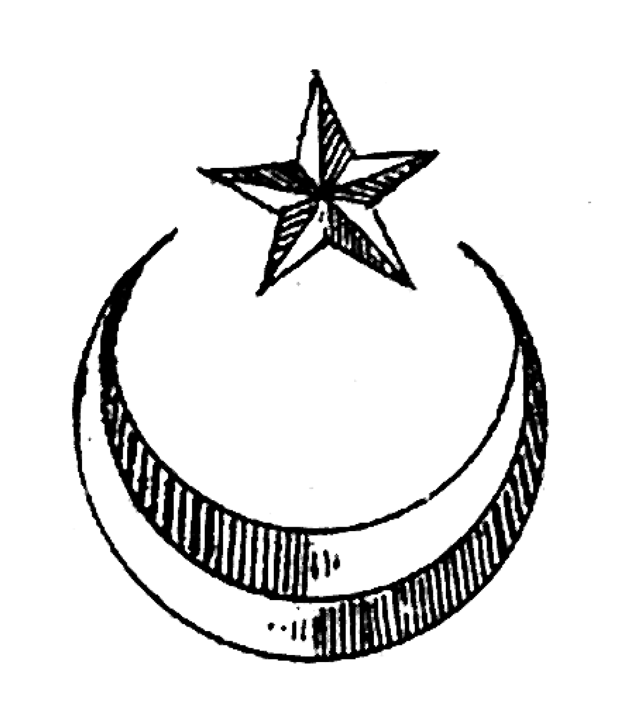
ناظر المدرسة

على حسب الجداول التفصيلية للعلوم الجارى تدريسها بمدرسة المهندسخانة الخديوية الصادر عليها قرار نظارة المعارف العمومية فى ٣٠ أغسطس سنة ١٨٩٤ المجعولة ذيلا لقانون المدرسة المذكورة المصدق عليه من مجلس النظار فى ٨ يونيه سنة ١٨٩٣

﴿ طبع فى مدرسة المهندسخانة الخديوية بسراى درب الجماميز ﴾

سنة ١٨٩٦

افرنكية



بسم الله الرحمن الرحيم

مبادئ علم الأيدروستاتيك

المقدمة

علم الأيدروستاتيك يبحث فيه عن الخواص الميكانيكية للسوائل أو عن معرفة تأثير السوائل بعضها على بعض أو على الأجسام الملامسة لها وعن بيان وترتيب الظواهر المختلفة للسوائل وجعلها تحت قوانين عمومية ويتوصل لذلك بوضع قواعد اساسية مؤسسة على المشاهدة والتجربة بواسطتها يمكن ايضاح تلك الظواهر بالطرق الهندسية والجبرية وايضاح تلك الظواهر سيأتى أيضا على التتابع من نتائج التعاريف والخواص التى يجرى تصورها ثم أن اختبار صحة القواعد المذكورة يكون بمطابقتها على الحقائق التى تظهر لنا من نتائج الأدلة

وما سيذكر فى أوائل هذا العلم يحتاج الى معرفة مبادئ الهندسة المستوية وجانب من علوم الجبر وحساب المثلثات والأستاتيك وفيما بعد يحتاج الى معرفة جانب من الهندسة التحليلية وبعض مباحث من علم الديناميك وحيث أنه عند الاشتغال فى أى علم ميكانيكى تتخذ قواعد تجريبية أساسا للادلة المطلوبة أو قواعد مستنتجة من التعاريف والفروضات المتخذة من الحقائق المشاهدة فكذا فى هذا العلم يستند على قواعد وقوانين تجريبية وقد تستنتج هذه القواعد والقوانين أحيانا من بديهيات السوائل وتعاريفها وذلك كما ذكرنا فى الباب الأول قانونى تساوى الضغوط فى جميع الجهات وانتقال الضغط بصفة قاعدتين تجريبيتين ثم اتبعنا ذلك باستنتاج هذين القانونين بالأدلة القوية من التعاريف البديهية

وتصور الضغوط المختلفة للسوائل وتقديرها يعد ضمن الصعوبات التى تصادفنا لكن اذا تأملنا نرى أن تلك الصعوبات عين الصعوبات التى صادفتنا فى تصور السرع المختلفة وتقديرها

فكما أن الجسم المتحرك بحركة متغيرة له فى كل لحظة زمنية سرعة مخصوصة يمكن تقديرها وتعيينها فكذلك

يمكن

يمكن تصور الضغط الواقع على كل نقطة من نقط السائل وبمقارنته بوحدات مخصوصة يمكن تقديره بالحساب وفى المسائل المتعلقة بتوازن السوائل توجد طريقة تصورية بها يمكن تحويل هذه المسائل الى شكل مسائل استاتيكية وحينئذ فيمكن استعمال قوانين التوازن الخاصة بالأجسام الصلبة عليها

وبعض النتائج المهمة جدا للعلم توجد فى انشاء الآلات الايدروليكية ويفحص هذه الآلات التى تشرح أكثرها فيما بعد نرى كيف تكون التطبيقات العملية لهذه السوائل عامة وأنها مع كونها تستعمل فى أصعب شغل يختص بالبكر والروافع فأنها تستعمل أيضا فى أدق الأشغال كتعيين الأثقال والمقاسات

فالمضغط الايدروليكى وآلة قياس أحجام الأجسام الصلبة (الاستريومتر) يوضحان لنا استعمال خواص السوائل فى الحدين النهائيين

والمواد المطبوعة بالأحرف الصغيرة فى نفس الكتاب الأصلى فى الصحف الآتية منه يمكن الاستغناء عنها فى أول دفعة يطالع فيها هذا الكتاب وأما أسئلة الأختبار التى تتبع الثمانية أبواب الاول فالقصد منها أن تكون أمثلة أولية على الأبواب المذكورة وأما الأمثلة التى تأتى بعد ذلك فهى صعبة نوعا وتستلزم تأخير الاشتغال بها الى انتهاء حل ما سبقها من المسائل

وقد فرضنا فى هذا العلم معرفة القضايا الآتية وهى

حجم الهرم أو المخروط يساوى ثلث حجم المنشور أو الأسطوانة المتحدة معه فى القاعدة والأرتفاع

وحجم الكرة يساوى $\frac{٤}{٣}$ ط نق^{٣} وسطحها يساوى ٤ ط نق^{٢} (و نق عبارة عن نصف القطر)

وحجم مجسم القطع المكافئ التحركى يساوى نصف حجم الاسطوانة المتحدة معه فى القاعدة والارتفاع

والسطح المحدب للمخروط يساوى ط نق^{٢} قتا ∝ (و نق نصف قطر قاعدته و ∝ نصف زاوية الرأس)

وهذا المقدار يمكن كتابته بهذه الصورة

$$\text{ط نق} \sqrt{\text{نق}^{٢} + \text{هـ}^{٢}}$$

و هـ هو ارتفاع المخروط

ومساحة القطع الناقص تساوى ط ا ب (٢١ ، ٢ ب هما طولا محوريه)

ومساحة قطعة من قطع مكافئ مقطوعة بإحداثى رأسى تساوى ثلثى المستطيل الذى ضلعاه الأحداثى الرأسى والأحداثى الافقى المقابل له

وقد فرض أن ثقل القدم المكعب من الماء يساوى ١٠٠٠ أوقية انجليزى (الرطل = ١٦ أوقية = ٤٥٣٫٥٩ جرام)

الباب الأول

تعريف السائل — انضغاط المواضع — ضغط السوائل — انتقال الضغط — تساوى الضغط فى جميع الاتجاهات — المنافخ الأيدروليكية — التناقض الأيدروليكى — المضاغط الايدروليكية — صمامات الأمن

س١د إعلم أن السوائل تقاوم الضغط مقاومة عظيمة

ولابد من صرف قوة لأجل غمر اليد فى الماء وهذه القوة لاتكون محسوسة حينما يكون الجسم المغمور خفيفا فاذا غمرت قطعة من الخشب أو الفلين مثلا فى الماء فأن المقاومة الناتجة من الأنغمار تكون كبيرة كلما كان الجسم المغمور كبيرا وهذه المقاومة ينشأ عنها ضغط السائل على سطح الجسم المغمور

واذا عملت فتحة فى احدى جوانب اناء مملوء بالماء وغطيت بقطعة معدنية لتمنع خروج الماء منها وأوقع على القطعة المعدنية المذكورة قوة معينة لتحفظها فى وضعها الأصلى فأن هذه القوة تكون مضادة لضغط الماء على القطعة المذكورة ومساوية لمقداره الحقيقى

والجو حينما يكون ساكنا يحدث ضغطا يمكن ان يتحقق منه بواسطة طلمبة هوائية وقد يوجد جملة تجارب تثبت ذلك أبسطها هو أن يؤخذ ناقوس من زجاج رقيق جدا ويستفرغ الهواء منه فمتى تم الاستفراغ المذكور فأنه يرى تبدد الناقوس وذلك بسبب الضغط الخارجى للهواء عليه

والهواء المتحرك يحدث ضغطا أيضا وتأثير ذلك الضغط مشاهد فى حركة طواحين الهواء وسير المراكب فى البحار وغير ذلك من اشياء كثيرة متعارفه

س٢د جميع المواد كالماء والزيت والزيبق والبخار والهواء أو أى نوع من الغازات تسمى سوائل ولأجل أن نعرف السائل يلزم ان نبحث عن الخاصية المشتركة بين جميع هذه المواد المختلفة التى لاتتعلق بالخواص التى تتميز بها تلك المواد بعضها عن بعض وهذه الخاصية هى انتقال جزئيات السائل وسهولة انفصال هذه الجزئيات بعضها عن بعض ومن كتلة السائل نفسه بحيث لايوجد أدنى مقاومة محسوسة عند انفصال أى جزء منها سواء كان كبيرا أو صغيرا

واذا غمرت لوحة معدنية رقيقة جدا فى الماء فأن المقاومة لانغمارها فى اتجاه مستويها تكون ضعيفة جدا حتى يكاد ان يتصور أن كتلة السائل لم تلامس اللوحة المذكورة وبعبارة أخرى أنه لايوجد تأثير مشابه للأحتكاك الناشئ من وضع لوحة معدنية رقيقة بين لوحين مستويين من الخشب متجاورين

اذا تقرر ماذكر يستنتج التعريف الآتى وهو

السائل كتلة مادية يمكن تجزئتها بسهولة من أى اتجاه منها وانفصال أى جزء صغير جدا منها بسهولة

ويوجد أيضا خاصية أخرى اساسية للسوائل وهى

أن الضغط الواقع من أى سائل على سطح ما يكون عموديا على السطح المذكور

س٣د يوجد نوعان من السوائل وهما الموائع والغازات فالموائع غير قابلة للأنضغاط حسيا وأما الغازات فأنها تنضغط بسهولة جدا بتأثير أى قوة خارجية تقع عليها ومتى زالت هذه القوة أو نقصت فأن الكتلة الغازية يمتد حجمها ثانيا

والموائع فى الحقيقة قابلة للانضغاط لكن بدرجة ضعيفة جدا وقد ثبت من التجارب التى عملت بمعرفة العلماء كانتون Canton فى سنة ١٧٦١ وبركنز Perkinz فى سنة ١٨١٩ وارستيد Oersted

فى سنة ١٨٢٣ .

فى سنة ١٨٢٣ وكلادون *Colladon* واستورم *Sturm* فى سنة ١٨٢٩ وعلماء آخرين قابلية الموائع للانضغاط

ثم أن العالمين الاخيرين استنتجا النتائج الآتية باعتبار تأثير ضغط جوى واحد أعنى ١٤ر٧٠ رطل انجليزى (والرطل الانجليزى = ٤٥٣ر٥٩ جرام وضغط الجو فى الدرجة الاعتيادية يساوى ١٥ رطل تقريبا وهو المتبع فى العمل فى الآلات التجارية) على كل بوصة مربعة فى درجة صفر من الحرارة

مقادير انضغاط الوحدة الحجمية

زيبق	٠٠٠٠٠٥ر٠
ماء مقطر	٠٠٠٠٤٩ر٠
ماء مقطر مستخرج من الهواء	٠٠٠٠٥١ر٠
ايتير كبريتى	٠٠٠١٣٣ر٠

وبالجملة فأن نقص حجم كل مائع يكون مناسبا للضغط الواقع عليه

فمثلا اذا كان ح الحجم الأصلى لمائع و حَ حجمه تحت ضغط جوى ض فيكون ح - حَ هو نقص الحجم ح وحينئذ يكون $\frac{ح - حَ}{ح}$ هو نقص وحدة الحجم

وعلى ذلك فيمكن وضع القانون الآتى

$$\frac{ح - حَ}{ح} = ه ض$$

الذى فيه ه تختلف حسب الموائع المختلفة

فبالنسبة للزيبق مثلا اذا قيس الضغط الواقع عليه باعتبار الضغط الجوى وحدة يكون ه = ٠٠٠٠٠٥ر٠ وسنعتبر فى جميع الأسئلة المختصة بالتوازن أن الموائع غير قابلة للانضغاط

قياس ضغط السوائل

٤ـ يقاس الضغط الواقع من السائل على سطح الأناء المشتمل عليه بواسطة القوة الواقعة على وحدة السطوح مثلا اذا كان اناء ذو قاعدة متحركة شكل ١ محتويا على ماء وكان من الضرورى أن يوقع على هذه القاعدة ضغط من أسفل الى أعلا يساوى ٦٠ رطلا لأجل ثباتها فى موضعها الأصلى فيكون مقدار الضغط الواقع من الماء على القاعدة المذكورة عبارة عن ٦٠ رطلا واذا فرض أن مساحة القاعدة تساوى ٤ بوصة مربعة باعتبار أن البوصة المربعة وحدة للسطوح فيكون قياس الضغط الواقع على أى نقطة من القاعدة يساوى ١٥ رطلا

ش ١

ولا يخفى أن الضغط الواقع على أى نقطة من سطح القاعدة هو طبعا مساو للصفر لكن قد استعمل لفظ (الضغط الواقع على أى نقطة) من باب الأصطلاح فقط لبيان الضغط الواقع على الوحدة السطحية المشتملة على هذه النقطة فأذا كان الضغط الواقع على السطح متغيرا كالضغط الواقع على الجانب الرأسى للأناء مثلا فأن الضغط الواقع على أى نقطة من هذا السطح يقاس بالضغط الواقع على وحدة السطوح بفرض أن الضغط الواقع على الوحدة المذكورة

بتمامها يكون بدرجة واحدة كما اذا كان واقعا على نقطة واحدة

ولقياس ضغط السائل الواقع على أى نقطة داخله نتصور جزأ سطحيا صغيرا جدا مشتملا على هذه النقطة ونتصور أن السائل قد حذف من احدى جهتيه وأن الجزء السطحى المذكور حفظ فى موضعه الأصلى بتأثير قوة مثل ده مثلا فحينئذ اذا كان ا رمز المساحة الجزء السطحى المذكور وكان الضغط الواقع عليه منتظما فيكون المقدار $\frac{ده}{ا}$ مبينا للضغط الواقع على وحدة السطوح فى موضع النقطة المذكورة ويرمز له عادة بالرمز ض فاذا كان الضغط الواقع على هذا السطح متغيرا فنتصور أن المساحة ا للسطح المذكور صغيرة جدا حتى أنه يمكن اعتبار الضغط الواقع عليه منتظما تقريبا وفى هذه الحالة يكون الضغط ده صغيرا جدا كالمساحة ا ولا يزال المقدار $\frac{ده}{ا}$ أو ض يعرف به درجة الضغط على أى نقطة من السطح المذكور (مع ملاحظة ان ض فى هذه الحالة هى نهاية النسبة $\frac{ده}{ا}$ عند نهاية صفر كل من ده، ا

انتقال ضغط السوائل

س ٥ الضغط الواقع على سائل ما ينتقل بالتساوى على جميع أجزاء السائل مثلا اذا كان اناء مغلوق شكل ٢ مملوأ بالماء وفتح فى جزئه العلوى فتحتان متساويتا السعة ا، ب وغلقتا بمكبسين وأوقع على المكبس ا مثلا ضغط ما فيلزم أن يوقع على المكبس ب ضغط مساو للضغط المذكور ليمنع ذلك المكبس من التقهقر ويجعله حافظا لموضعه الأصلى ولكن اذا عملت فتحة ثالثة حـ سعتها مغايرة لسعة كل من الفتحتين المذكورتين وغلقت بمكبس يرى أنه يلزم أن يوقع على هذا المكبس ضغط بحيث تكون النسبة الكائنة بين هذا الضغط والضغط الواقع على المكبس ا كالنسبة الكائنة بين سعتى الفتحتين حـ، ا سواء وجد المكبس ب أو لم يوجد

ش ٢

وعلى العموم اذا فرض اناء ذو شكل حيثما اتفق كشكل ٣ وعمل فيه عدة فتحات وغلقت بمكابس أجرى تثبيتها بقوى معينة وفرض أنه أوقع قوة اضافية مثل ده على أحد المكابس يرى أنه يلزم ان يوقع على جميع المكابس الأخر قوى أخرى بحيث تكون نسبتها الى القوة كنسبة اسطح المكابس الأخر الى سطح المكبس الواقعة عليه القوة ده



ش ٣

س ٦ ولزيادة ايضاح انتقال الضغط بالتساوى نتصور انبوبة منحنية مفتوحة الطرفين شكل ٤ مملوءة بالماء أجرى غلقها فى الموضعين ا، ب وحينئذ يرى بداهة أنه اذا أوقع قوة اضافية على المكبس ا فأنه يلزم ان يوقع على المكبس ب قوة مساوية لها لتثبيته وعدم تقهقره وحفظ السائل فى موضعه

ش ٤

فاذا فرض فى الشكل ان ا، ب مكبسان متساويان وأجرى توصيل أحدهما بالآخر بماسورة شكلها حيثما اتفق قطاعها منتظم وتصورنا تجمد جميع السائل ماعدا الموجود منه

داخل

داخل الماسورة فأن حالة التوازن لاتتغير حيث أن ضغط السائل فى كل نقطة عمودى على سطح الماسورة سواء كان السائل جامدا أو غير جامد وأن الضغوط الاضافية على ا و ب لاتزال متساوية كما كانت

وكذا اذا فرض أن المكبس ا ثابت والمكبس ب وضع فى وضع حيثما اتفق فبمقتضى ماتقدم يكون الضغط الواقع عليه واحدا مهما كان وضع مستويه وبعبارة أخرى أن ضغط السائل يكون واحدا فى جميع الأتجاهات وسنتكلم على هذه القضية بحالة عمومية فى البند الآتى

والحقيقة التجريبية التى مقتضاها أن الضغوط الواقعة على المكابس ذوات السعات المختلفة مناسبة لهذه السعات يمكن استنتاجها كما هو آت

اذا فرض أناء مغلق وعمل فيه فتحتان ووضع فيهما مكبسان أحدهما ا ذو شكل مربع والآخر ب سطحه مكون من مربعين أو أكثر كل منها مساوٍ ا يكون الضغط الاضافى الواقع على كل من تلك المربعات مساويا للضغط الواقع على ا وتكون نسبة مجموع الضغوط الاضافية الواقعة على ب الى الضغط الاضافى الواقع على ا كنسبة المساحة ب الى المساحة ا

س ٧ الضغط الواقع على نقطة ما من السائل يكون واحدا فى جميع الاتجاهات أعنى أنه اذا وضع سطح مستو صغير مشتمل على تلك النقطة فضغط السائل على السطح المستوى المذكور فى النقطة المذكورة يكون غير متعلق بوضع المستوى المذكور

والشكل الثانى الموجود فى البند الخامس يمكن ان يستعمل لأيضاح هذه القضية وهى أنه اذا فرض أنه يمكن تغيير وضع سطح أحد المكابس المركب على احدى الفتحات فأنه يرى أن الضغط لايتغير

س ٨ اذا فرض كتلة سائلة ساكنة فكل جزء منها يمكن اعتبار تجمده بدون تغيير حالة التوازن أو ضغط السائل المحيط به

لأن كل جزء من كتلة السائل يمكن اعتباره كجسم منعزل محاط بالسائل الذى يضغط ضغطا عموديا على جميع نقط سطحه

وبتجمده هذا لايحدث تغيرا فى الضغوط الواقعة عليه وحينئذ لايحدث أدنى تغير فى الضغط الواقع على أى نقطة أخرى من السائل

وهذه القضية تساعد على استعمال قوانين الاستاتيكا فى حالات توازن السوائل

س ٩ المنفاخ الأيدروستاتيكى آلة بها يمكن ايضاح انتقال ضغط السوائل

فاذا فرض ان ب شكل ٥ هو السطح العلوى لاسطوانة جانباها من السختيان وفرض أن حـ ا ماسورة متصلة بها وفرض أن الماسورة والاسطوانة المذكورتين مملوئتان بالماء فأنه يمكن ان يرفع ثقل عظيم واقع على ب بضغط قليل واقع على ا من الماسورة المذكورة

وحيث أن مقدار هذا الثقل يكون مناسبا لسعة السطح ب فالمنفخ فقط

ش ٥

داخل الماسورة من جهة ا بدون استعمال الماء يمكن رفع الاثقال

سـ١٣ــد التناقض الايدروستاتيكي — كل كمية من سائل مهما كانت صغيرة يمكن ان تستعمل في حمل اي ثقل مهما كان كبيرا

وهذه طريقة اخرى لايضاح قاعدة انتقال الضغوط لانه يمكن ان يفرض في الشكل المتقدم امتداد الماسورة حـ ا رأسيا وان الضغط يتولد من صب الماء فيها الى ارتفاع عظيم الى ان يحدث الضغط المطلوب على ا بواسطة عمود المائع الذي فوقها

ويمكن ان تكون الماسورة المذكورة رفيعة جدا حتى ان الضغط الواقع على القطاع ا يمكن ان يكون صغيرا جدا وحيث ان هذا الضغط ينتقل على كل جزء مساوٍ للقطاع ا من السطح ب فحينئذ يمكن الحصول على قوة عظيمة جدا على حسب الارادة

ولاجل ازدياد القوة الواقعة على السطح ب من اسفل الى اعلى يلزم تكبير ذلك السطح او ازدياد ارتفاع عمود المائع في الماسورة مع ملاحظة ان نهاية ازدياد القوة تكون بحسب مقاومة الماسورة والاسطوانة لازدياد الضغط

واذا جعل الارتفاع ب حـ صغيرا جدا وقطر الماسورة كذلك تكون كمية السائل المستعملة قليلة جدا وعليه فقد ظهر التناقض

المضاغط الأيدروليكية

سـ١٤ــد المضاغط الأيدروليكية او الايدروستاتيكية مؤسسة على قاعدة انتقال ضغط السائل فمثلا اذا فرض ان ا و ب شكل ٦ مكبسان يتحركان في اسطوانتين مجوفتين مستطرقتين بماسورة حـ وجميعها محتو على ماء فكل قوة تقع على المكبس ب تنتقل الى المكبس ا وان القوة الواقعة على ا تكون اكبر من القوة الواقعة على ب بمقدار مساوٍ للنسبة الكائنة بين سطحي المكبسين ا و ب

وهذا هو ابسط المضاغط الأيدروليكية واما في الأعمال فانه يحتاج لحوض مائي يمكن ان يحصل منه على مقدار عظيم من الماء بواسطة طلمبة وحينئذ فينبغي تأخير شرح المضغط الايدروليكي التام لحين شرح الطلمبات

صمام الأمن

سـ١٥ــد يوجد احيانا ضغط من السائل عظيم في اكثر الآلات وخصوصا في الآلات البخارية ومنه تتأثر الآلة تأثيرا شديدا فللاحتياط ومنع الخطر الناشئ من هذا الضغط الذي ربما يحدث فرقعة الآلة يستعمل صمام الأمن الذي بواسطته يستدل على وجود هذا الضغط العظيم

وصمامات الأمن المستعملة على اشكال مختلفة والقاعدة الاساسية لها هي الانتقال المنتظم لضغط السوائل فقط

فمثاله

فمثلا اذا كانت ب حـ شكل ٧ احدى المواسير التى يمر منها السائل ، ا ى ماسورة صغيرة طرفها مفتوح فى ب حـ فالضغط الواقع على غطاء الطرف الآخر للماسورة المذكورة ى يقدر به الضغط الداخلى للسائل وحينئذ اذا كان لهذا الغطاء ثقل موافق فانه يرتفع حينما يتجاوز الضغط الداخلى المذكور الحد المعين

شكل ٧

فاذا فرض أن اعظم مقدار مسموح به لضغط السائل هو ٥٠٠ رطل على كل بوصة مربعة وكانت مساحة قطاع الماسورة ى هى $\frac{١}{١٦}$ من البوصة المربعة فالثقل المساوى الى $\frac{٥٠٠}{١٦}$ أو $٣١\frac{١}{٤}$ رطل يرفع عنه مازيد مقدار الضغط عن ٥٠٠ رطل

ويمكن تنقيص الثقل المستعمل اذا كان الغطاء يتحرك حول مفصل ا مع وضع الثقل ث على بعد قليل من المفصل المذكور

المثال الاول — اذا فرض أن الماسورة ى مستديرة وقطرها يساوى $\frac{١}{٤}$ بوصة ووضع ثقل قدره ٤ أرطال على بعد ٢ بوصة من المفصل ا وكان المطلوب تعيين مقدار أعظم ضغط السائل الذى به لا يرتفع الغطاء يقال حيث أن محصلة ضغط السائل تكون واقعة فى مركز الدائرة فتكون على بعد $\frac{١}{٨}$ بوصة من المفصل ا وعليه اذا فرض أن ض هو الضغط المطلوب تعيينه فتكون القوتان ض × $\frac{ط}{٦٤}$ والاربعة أرطال متزنتين حول المفصل ا وحينئذ يحدث

$$ض \times \frac{ط}{٦٤} \times \frac{١}{٨} = ٤ \times ٢ \quad \text{ومنه يحدث}$$

$$ض = \frac{٦٤ \times ٦٤}{ط}$$

وباعتبار أن ط = ٣ يتحصل تقريبا أن ض = ١٣٦٥ رطل

المثال الثانى — اذا كان قطر الماسورة ى = $\frac{١}{٣}$ بوصة والبعد ا ث = $\frac{١}{٢}$ ٢ بوصة والمطلوب تعيين مقدار الثقل الذى يدل على ضغط قدره ١٠٠٠ رطل على كل بوصة مربعة يقال

(الجواب $\frac{١}{٢}$ ٥ رطل تقريبا)

بند ١٦ فى المضاغط الايدروستاتيكية كما فى جميع الآلات تنطبق القاعدة الأساسية وهى ما يكتسب من القوة يفقد من المسافة أو الزمن مثلا اذا فرض فتحتان فى اناء مغلق كما فى شكل البند الخامس وانزل المكبس ب بمقدار مسافة معينة فالمكبس ا يرتفع اذا كان السائل غير قابل للانضغاط مسافة تكون صغيرة كلما كان سطح المكبس ا كبيرا

وهذه حالة بسيطة من حالات السرع التصورية التى سنشرحها مطبقة على السوائل غير القابلة للانضغاط

فاذا فرض أن ا ، ب ، حـ ... الخ اسطح عدة مكابس تتحرك فى مواسير اسطوانية مثبتة فى جوانب اناء مغلق مملوء بالماء وفرض أن المكابس المذكورة تتحرك بكيفية حيثما اتفق بحيث ان السائل يبقى ملا مسا لها وفرض أن اَ ، بَ ، حـَ ... الخ هى المسافات التى تقطعها تلك المكابس مع ملاحظة أن تلك المسافات تكون موجبة أو سالبة على حسب ما اذا كانت المكابس المذكورة مدفوعة الى الداخل أو الى الخارج وحيث أن حجم السائل ثابت تكون الاجزاء الموجبة اى الاحجام المدفوعة الى الداخل متزنة مع الاجزاء السالبة أى مع الاحجام المدفوعة الى الخارج ويحدث ا اَ + ب بَ + حـ حـَ + ... الخ = .

ولكن اذا كانت ق ، ك ، ر .... الخ هي القوى الواقعة على المكابس على التناظر يكون

ق : ك : ر : .... = أ : ب : ح : .....

وحينئذ يكون

ق أَ + ك بَ + ر حَ + ... الخ = ٠ (*)

أعني ان مجموع حواصل ضرب كل قوة في المسافة التي تقطعها نقطة تأثيرها يساوي صفر

وبملاحظة ان أَ ، بَ ، حَ .... تكون مناسبة للسرع التصورية للمكابس فتكون المعادلة الأخيرة هي معادلة السرع التصورية ومنها يتحقق ما نحن بصدده

١٧ سك ولا ينبغي التصور أن أي مادة ما على حالتها الطبيعية تكون مطابقة بالتمام للتعريف الذي أعطى للسوائل وذلك لأن تصور سطح أملس بالكلية وجسم صلب بالكلية انما هو بالنسبة لمقارنة الأجسام المختلفة الصلابة بعضها لبعض والأسطح المختلفة الملاسة كذلك وبهذه الصفة يكون تصور تمام السيولة التي أشرنا اليها ومع ذلك فانه في حالة سكون السوائل تكون الخواص النظرية المشتقة من هذا التعريف مطابقة للحقائق وأما في حالة تحركها توجد مغايرات غير محسوسة

فمثلا اذا صار تحريك فنجان مملوء بمائع كالشاي مثلا حركة دورانية ثم ترك ونفسه فيرى أن الشاي يسكن بالتدريج بعد زمن قليل وهذا يثبت وجود احتكاك بين المائع المذكور والفنجان وكذلك بين اجزاء المائع نفسه

كذا تحرك الماء داخل المواسير المائلة يستدل منه على وجود احتكاك بين اجزاء الماء

سك وينبغي أن يلاحظ أن البراهين التي أجريت على تساوي الضغوط الواقعة في نقطة ما في جميع الجهات وانتقالها كذلك تطبق على الغازات كالسوائل الغير قابلة للانضغاط وانما عند ما يقع ضغط اضافي على غاز ما فتكون نتيجة التأثير في الحال انضغاط السائل الغازي المذكور وبعد حصول التوازن يكون قد وصل الضغط الاضافي المذكور لجميع اجزاء السائل الغازي السالف الذكر

اختبار في الباب الأول

(١) ميز بين السوائل المرنة وغير المرنة — هل يوجد مائع غير مرن بالكلية

(٢) اذكر الخاصية التي تؤخذ كقاعدة في جميع البراهين المختصة بتأثير السوائل

(*) ق/أ = ك/ب = ر/ح = ...

ب = أك/ق

ح = أر/ق وإذا وضع مقدار ب ، ح في معادلة

ق أَ + ب بَ + ح حَ + ... = ٠ يحدث

ق أَ + أك بَ/ق + أر حَ/ق + ... = ٠ أو أَ ق + بَ ك + حَ ر + ...٠

(٣) عرّف تقدير ضغط السوائل

(٤) من بعد معلومية ان الضغط الواقع من سائل على المساحة المستوية لياردة (اليارده = ٣ قدم = ٣٦ بوصة) منتظم وقدره ١٣٦٠٨ أرطال فما مقدار الضغط الواقع على أى نقطة باعتبار الوحدة الطولية بوصة واحدة ثم باعتبار الوحدة المذكورة بوصتين

(٥) اذا فرض ان مستويا مستطيلا موضوع رأسيا وملامس للماء فيكون له جانبان افقيان وكان الضغط واحدا على جميع نقط الخط الافقى فالضغط الواقع على المستطيل باجمعه بالنسبة للمقادير المختلفة للارتفاع ﻫ يكون ك ب ﻫ (أ + ½ ﻫ) بفرض ان ﻫ هى ارتفاع المستطيل ، ب هى عرضه والمطلوب ايجاد الضغط الواقع على أى نقطة من القاعدة العليا (انظر بند ٤)

(٦) اذا كان المعلوم ماسورة اسطوانية مملوءة بالماء ومفتوحة فى ماسورة أخرى قطرها ثلاثة أمثال قطر الماسورة الأولى وأوقع ضغط على المائع الموجود فى الماسورة الصغيرة قدره ٢٠ رطلا فما مقدار القوة اللازم توقيعها على نهاية فتحة الماسورة الكبيرة حتى تحفظ الماء فى حالة السكون

(٧) وضح حقيقة تأثير انتقال الضغط فى الموائع واشرح قاعدة عملية مضبوطة من هذا القبيل

(٨) فى المنافخ الايدروستاتيكية (شكل) قطاع الماسورة أ يساوى $\frac{1}{8}$ بوصه مربعه والمساحة ب هى سحة دائرة قطرها يارده والمطلوب تعيين الثقل الذى يحمل بضغط قدره رطل واحد يقع على الماء فى أ

(٩) اذا كان صمام أمن مشتمل على غطاء مستطيل ثقيل يكون افقيا حينما يسد الفتحة التى تحته ويتحرك حول أحد جوانبه والفتحة مربعة ولها جانب منطبق على الجانب الثابت للغطاء فما مقدار النهاية العظمى للضغط الذى يبينه الصمام المذكور

(١٠) طبق قاعدة السرع المتصورية على السؤال السادس

(١١) اذا عرضت مساحة مثلثية أ ب ح لضغط سائل وأنه اذا رسم مستقيم كالخط د ك مواز ب ح وعلى بعد من أ قدره س يكون الضغط الواقع على المساحة أ د ك مساويا الى ض س والمطلوب تعيين الضغط الواقع على أ وكذا الضغط الواقع على أى نقطة من الخط ب ح

أ
س
ك د
ح ب

(١٢) اذا كانت ماسورة اسطوانية متينة قطرها الداخلى يساوى قدما وطولها عشرة اقدام وملئت بالماء المقطر وسدت بمكبس وقع عليه قوة قدرها ١٠٠٠٠ رطل فبرهن على أن نتيجة ضغط الماء هى $\frac{1}{47}$ من البوصة تقريبا

الباب الثانى

الكثافة والثقل النوعى

بند ١٩ أهم تقسيم للسوائل هو بين الغازات والموائع أى بين السوائل المرنة وغير المرنة كما تسمى

بذلك أحيانا وحينئذ فتنحصر جميع السوائل فى هذين القسمين

وقد ذكرنا فيما سبق ان تسمية (غير مرن) ليست صحيحة لكن لايحدث باستعمالها أدنى التباس لأن قابلية الموائع للانضغاط غير محسوسة عمليا وأنها ليست مهمة فى الأحوال المعتادة ومع ذلك حيث يظهر أن نظرية الصوت متعلقة نوعا بقابلية الانضغاط هذه فيكون من المهم الاعتراف بوجودها

وتمتاز السوائل بعضها عن بعض باشياء كثيرة كاللون ودرجة الشفافية والوصف الكيماوى واللزوجة وغير ذلك ولكن التمييز الوحيد فى النظرية الاستاتيكيه والديناميكية الذى يلزم اعتباره هو الكثافة أو الثقل النوعى للسائل

وينبغى أن لايظن أن الكثافة والثقل النوعى مترادفان بل انهما متعلقان بمادة السائل

فمثلا اذا فرض بوصة مكعبة من الزيبق وأخرى من الماء فأنه يكون لهما ثقلان مختلفان فثقل الأولى يكون اكبر من ثقل الثانية بمقدار ١٣ مرة وكسور وينتج من ذلك ان كمية المادة فى الزيبق تكون اكبر من كمية المادة فى الماء وان كثافة الزيبق تكون اكبر من كثافة الماء

وهذه الملحوظات تنطبق على كل من الأجسام الصلبة والسوائل وتحدد الكثافة والثقل النوعى لسائل أو لجسم صلب بمقارنتها بالكثافة والثقل النوعى لمادة أخرى معتبرة وحدة

٣ـ ويمكن ان نلاحظ هنا ان جميع السوائل سواء كانت مرنة أو غير مرنة تتحد فى شيئ واحد وهو أن جميعها ذات أثقال محسوسة بمعنى أن جميعها متأثرة بقوة التثاقل ولها أثقال مختلفة ثم أن الكثافة تتعلق بالمادة التى تتركب منها الأجسام وتصور اختلاف الكثافة فى جسمين مختلفين خلاف تصور الثقل أما الثقل النوعى فأنه يتعلق باختلاف تأثير التثاقل على الأجسام المختلفة

٤ـ تعريف (*) ـ تقدر كثافة أى جسم بمقدار النسبة الكائنة بين مجسم حجم ما من الجسم المذكور وبين مجسم حجم مساوٍ له من المادة المعتبرة وحدة

فمثلا اذا فرض ان ك رمز للنسبة المذكورة وأن المادة المعتبرة وحدة بتمامها مساوية للواحد فتكون ك هى كثافة السائل المفروض مقدرة بكثافة المادة المعتبرة وحدة

ومن الواضح أنه اذا ضغط جسم الى أن صار حجمه نصف حجمه الأصلى فأن كثافته تتضاعف مع أن مجسمه أو أن كمية المادة المتكونة منها باقية على حالتها وكذا اذا ضغط الجسم المذكور لأى نسبة كانت فأن كثافته تزداد بمقدار هذه النسبة ويمكن ايضاح ذلك بأن نقول أن

(*) كثافة اى جسم هى مجموع مادة الوحدة الحجمية من هذا الجسم وبعبارة أخرى هى النسبة الكائنة بين مجسمه وحجمه اعنى أنه اذا رمز بالرموز ك ، م ، ح للكثافة والمجسم والحجم على التناظر يكون

ك = م / ح ومنها م = ك ح

وكذا حيث أن م = ث / د فيكون ث = د ك ح

م تتغير بالنسبة الى ك ح

مع الرمز بحرف م للجسم وبحرف ح للحجم

ومن المعلوم ان ثقل أى جسم يتعلق بموضعه على سطح الأرض ولكن على أى حال من الأحوال اذا كانت حـ هى العجلة المحلية الناتجة من التثاقل فثقل جسم معلوم أعنى ثقل جسم ذى حجم معلوم يتغير بالنسبة الى حـ أو

ث يتغير بالنسبة الى حـ وكان ث يتغير بالنسبة الى م فيكون على العموم

ث يتغير بالنسبة الى م حـ وعلى ذلك يكون

ث يتغير بالنسبة الى حـ ك ح

ويمكن ان نفرض أن الوحدات الداخلة فى هذه الرموز منتخبة بكيفية بحيث ينتج الارتباطات الآتيان

م = ك ح ، ث = م حـ وعليه يكون ث = حـ ك ح

٢ـ٦ ويرى من هذا القانون أنه يمكن استنتاج احدى الكميات الاربع من بعد معلومية الكميات الأخر فاذا كانت وحدتا المسافة والزمن هما القدم والثانية فيكون مقدار حـ = ٣٢،٢ ويجعل ك = ١ ، ح = ١ أعنى قدم مكعب يكون ثقل وحدة الحجم من المادة المعتبرة وحدة مساويا الى ٣٢،٢ وحدات ثقل وعلى ذلك يكون مقدار وحدة الثقل = $\frac{١}{٣٢،٢}$ (من ثقل قدم مكعب من المادة المعتبرة وحدة)

فاذا فرض حينئذ أن الماء المقطر الذى حرارته ٦٠° (فرنهيت) هو المادة المعتبرة وحدة فثقل القدم المكعب يكون مساويا الى ١٠٠٠ أقيه وعلى ذلك يكون فى معادلة ث = حـ ك ح وحدة الثقل مساوية الى $\frac{١٠٠٠}{٣٢،٢}$ أقيه وحينئذ يحدث

ث = ١٠٠٠ ك ح أقيه

مثال ـ اذا كان المطلوب ايجاد ثقل اثنى عشر قدما مكعبا من مادة كثافتها ٣،٥ باتخاذ الماء المقطر وحدة يوضع الثقل = حـ × ٣،٥ × ١٢ × $\frac{١٠٠٠}{حـ}$ أقيه = ٤٢٠٠٠ أقيه

ويحل هذا المثال مباشرة بملاحظة أن الثقل المطلوب قدر ثقل اثنى عشر قدما مكعبا من الماء ٣،٥ مرات

٣ـ٦ فى البنود المتقدمة قد اعتبرنا الأجسام المتجانسة فقط فاذا كانت الكثافة متغيرة أو ان الأجسام غير متجانسة فتكون الكثافة فى أى نقطة من الجسم المفروض عبارة عن كثافة أى نقطة من جسم متجانس كثافته مساوية لكثافة الجسم المفروض فى النقطة المفروضة

واذا كانت الكثافة متغيرة من نقطة الى أخرى بالتدريج فيمكن تعيينها فى أى نقطة بأن نأخذ جسما صغيرا من السائل يحتوى على هذه النقطة ونقارن ثقله بثقل حجم مساوٍ له من المادة المعتبرة وحدة مع ملاحظة أن الكثافة فى أى جسم صغير لا تتغير تغيرا محسوسا فى جميع أجزائه

٤ـ٦ ولايضاح التصور الرياضى لمادة متغيرة تغيرا تدريجيا نتصور عدة طبقات متجانسة ذات سمك واحد س موضوع بعضها فوق بعض ونفرض ان كثافة الطبقة السفلى هى ك وكثافة الطبقة التى هى أعلى ما يكون هى كَ وان كثافات الطبقات المتوسطة تتزايد تدريجيا من كَ الى ك وحينئذ

اذا فرض أن السمك س لكل طبقة يصغر بقدر ما يراد وأن عدد الطبقات الوسطى يصير كبيرا بقدر ما يراد مع بقاء كثافتى الطبقتين النهائيتين ك ، كَ على حالتهما فكثافات الطبقات المتوسطة التى تتزايد من كَ الى ك تختلف بعضها عن بعض بكميات صغيرة جدا ويمكن حينئذ تصور حالة الاستمرار المختلفة

وطريقة تصور الاستمرار بعدم الاستمرار ضرورية فى الاعمال الرياضية

فالجو حينما يكون ساكنا يكون مثالا من هذا القبيل لأن كثافته تتناقص تدريجا بحسب الارتفاع

س ٥ كثافة الممزوج يمكن تعيينها بالقانون المتقدم وهو

م = ك ح

فمثلا اذا كانت ح ، حَ ، حً .... هى أحجام سوائل كثافاتها ك ، كَ ، كً .... ومزجت تلك السوائل معا وفرض أن حجم الممزوج الناتج متجانس ولم يحصل تغير فى الحجم بأسباب كيماوية

فالجسم الكلى يكون مساويا الى ك ح + كَ حَ + كً حً + ... = مج ك ح

والحجم الكلى يكون مساويا الى ح + حَ + حً + ... = مج ح

وحينئذ فكثافة الممزوج الكلى تكون مساوية الى (مج ك ح) / (مج ح)

س ٦ تعريف ـ يقدر الثقل النوعى لجسم بالنسبة الكائنة بين ثقل أى حجم من الجسم المذكور وبين ثقل حجم مساوٍ له من المادة المعتبرة وحدة

ويرى من هذا التعريف ان تقدير الثقل النوعى لجسم يكون كتقدير كثافته بشرط أن المادة المعتبرة وحدة تكون واحدة فى كليهما ومع ذلك فلا ضرورة لأن تكون المادة المعتبرة وحدة دائما واحدة

فاذا كان ثً رمز الثقل النوعى لجسم صلب أو لسائل ، ث رمز الثقل لحجم ح من الجسم الصلب أو السائل المفروض فيتحصل على

ث = ثً ح ..... (*)

الذى يفهم منه أنه اذا كانت وحدة الثقل مساوية لثقل وحدة حجم المادة المعتبرة وحدة يكون الثقل المفروض مساويا الى ثً ح مرات وحدة الثقل

فمثلا اذا كان الماء المقطر هو الوحدة وأن القدم هو وحدة الطول فثقل حجم ح لسائل ثقله النوعى ثً يكون قدر ثقل قدم مكعب من الماء ثً ح مرات

اى أن الثقل المفروض يساوى ١٠٠٠ ثً ح أقيه أو يساوى ١٠٠٠/١٦ ثً ح رطل

(*) ث / ثَ = ثً = الثقل النوعى ولكن ثَ = د ك ح فيكون ث / (د ك ح) = ثً / ١

وحينما تكون وحدة الثقل تساوى ثقل الوحدة الحجمية للمادة المعتبرة وحدة يكون ١ = د ك وعليه يكون

ث / ح = ثً ومنها يحدث

ث = ثً ح

س ٢٧ د لايجاد الثقل النوعي لمزوج مكون من عدة أحجام معلومة من سوائل مختلفة اثقالها النوعية معلومة

نفرض أن ح ، حَ ، حً .... هي احجام سوائل مختلفة اثقالها النوعية هي ثٍ ، ثٍَ ، ثًٍ ..... فحينئذ يكون ثقل الممزوج هو

ثٍح + ثٍَحَ + ثًٍحً + ... او مجـ ثٍ ح

والحجم الكلي له هو ح + حَ + حً + ... او مجـح

وعليه فاذا كان ثٍ هو الثقل النوعي للمزوج المفروض فيكون

ثٍ مجـح = مجـ ثٍ ح او

$$ثٍ = \frac{مجـ ثٍ ح}{مجـ ح}$$

فاذا كان بالتأثير الكيماوي بين السوائل يصير الحجم مساويا الى ح بدلا من مجـح فالثقل النوعي يكون مساويا الى

$$\frac{مجـ ثٍ ح}{ح}$$

س ٢٨ د لايجاد الثقل النوعي لمزوج حينما تكون الاثقال والاثقال النوعية للسوائل الممزوجة معلومة

نفرض أن ث ، ثَ ، ثً .... هي الأثقال وان ثٍ ، ثٍَ ، ثًٍ .... هي الاثقال النوعية للسوائل المختلفة المذكورة

وحينئذ فالاحجام تكون مساوية على التناظر الى

$$\frac{ث}{ثٍ} ، \frac{ثَ}{ثٍَ} ، \frac{ثً}{ثًٍ} .....$$

والحجم الكلي يكون مساويا الى $\frac{ث}{ثٍ} + \frac{ثَ}{ثٍَ} + \frac{ثً}{ثًٍ} + ... = مجـ (\frac{ث}{ثٍ})$

وكذا الثقل الكلي يكون مساويا الى ث + ثَ + ثً + ... = مجـ ث

وحينئذ اذا كان ثٍ هو الثقل النوعي للمزوج يكون

$$ثٍ مجـ (\frac{ث}{ثٍ}) = مجـ ث$$

س ٢٩ د لايجاد وحدة الثقل النوعي أو لتعيين الثقل النوعي لمادة معتبرة وحدة حينما يكون وحدتا الطول والثقل معلومتين

نقول أنه من معادلة ث = ثٍح التي فيها ث = ١ حينما يكون ثٍ = ١ ، ح = ١ يظهر أن المادة المعتبرة وحدة هي احدى المواد التي فيها ثقل وحدة الحجم هي وحدة الثقل

فمثلا اذا كان الرطل والقدم هما الوحدتان فالوحدة تكون هي المادة التي فيها القدم المكعب يزن رطلا واحدا

ومن المعلوم أن القدم المكعب من الماء يزن ١٠٠٠ أقيه فحينئذ يكون $\frac{١٦}{١٠٠٠}$ من القدم المكعب من الماء يزن رطلا

وحينئذ فالمادة المعتبرة وحدة تكون هي المادة التي يزن القدم المكعب منها قدر ثقل $\frac{١٦}{١٠٠٠}$ من القدم المكعب من الماء

وعليه فتكون نسبة كثافة الوحدة الى كثافة الماء كنسبة ١٦ الى ١٠٠٠

س ٣٠ د مقارنة المعادلتين ث = ثٍ ح ، ث = حـ ك ح معا

يظهر من التعريف أنه حينما تكون المادة المعتبرة وحدة واحدة (في تقدير الكثافة وتقدير الثقل النوعي) فمقدارا الكثافة والثقل النوعي لسائل معلوم يكونان واحدا أي ان العددين ك ، ثِ يكونان متحدي المقدار وحيث أنه ليس من الضروري أن تكون المادة المعتبرة وحدة واحدة فيكونان ك ، ثِ مختلفتي المقدار

ومن المعادلتين ث = ثِ ح ، ث = د ك ح المذكورتين اذا كانت المواد المعتبرة وحدة واحدة ووحدات الطول كذلك فوحدات الثقل تكون مختلفة وفي الواقع فأن وحدة الثقل في المعادلة الأولى تكون قدر وحدة الثقل في الثانية د مرات

ويستنتج أيضا أنه اذا كانت وحدات الثقل والطول واحدة فأن المواد المعتبرة وحدة تكون مختلفة فمثلا اذا كانت ثِ ، ك منسوبين الى مادة حجم ح فيها ثقله ث فيكون ثِ = د ك (*) وعليه فكثافة المادة المعتبرة وحدة المنسوبة اليها ثِ تكون أصغر من كثافة المادة المعتبرة وحدة المنسوبة اليها ك بقدر نسبة د الى ١

وحيث أنه يدخل في المعادلة ث = د ك ح وحدة الزمن لأن مقدار د متعلق بالزمن فبتغيير وحدة الزمن فأن واحدة أو أكثر من الوحدات الأخر أعني وحدات الطول والثقل والكثافة يلزم ان تتغير كذلك

س٣١ والطريقة العملية لتعيين الثقل النوعي للأجسام الصلبة والموائع والغازات سنتكلم عليها في الباب الآتي فيما بعد

وعادة تنسب جداول الأثقال النوعية للأجسام الصلبة والموائع للماء المقطر الذى درجة حرارته ٦٠° فرانهيت

وأما الغازات والابخرة فتنسب اثقالها النوعية للهواء الجوي مأخوذة في درجة حرارة وضغط مساويان لدرجة حرارة وضغط نفس الغازات

اختبار في الباب الثاني

(١) كيف تقدر الكثافة

ما هو الاتفاق الذى حصل بالنسبة للوحدات الداخلة في معادلة ث = د ك ح

(٢) المطلوب تعيين ثقل قدم مكعب من الزيبق الذى ثقله النوعي هو ١٣ر٥٦٨

(٣) اذا كانت بوصة مكعبة من المادة المعتبرة وحدة تزن ر٤٥ من الرطل فما يكون ثقل ياردة مكعبة من مادة كثافتها ٥

(٤) اذا كان ممزوج مكون من سائلين ثقله النوعي معلوم وكانت النسبة م : ١ من حجمي السائلين معلومة وكذا النسبة ى : ١ من الثقلين النوعيين معلومة أيضا فما مقدار الثقل النوعي لكل من السائلين المذكورين

(*) من معادلة ثِ = د ك يرى أن ثِ > ك

وحيث ان كلا من ثِ ، ك يدل على مجرد عدد فحينئذ كلما كانت المادة المعتبرة وحدة كثيفة كلما كان هذا العدد صغيرا وبالعكس

(٥) اذا امزج ثقلان متساويان من سائلين كثافتهما ك ، ك وفقد ثلث الحجم الكلى فما هى كثافة السائل الباقى

(٦) المطلوب تعيين ثقل ياردة مكعبة من مادة ثقلها النوعى ٢١ر٠ باعتبار الماء وحدة

(٧) اذا كانت بوصة مكعبة من مادة تزن $\frac{١٦٢٥}{٣٤٥٦}$ من الرطل فما هو ثقلها النوعى بالنسبة للماء

(٨) اذا كان ممزوج مكون من احجام متساوية من ثلاث سوائل كثافة اثنين منها معلومتان وكثافة الممزوج معلومة أيضا فما هى كثافة السائل الثالث

(٩) اذا امزج حجمان ح ، حَ لسائلين ثقلهما النوعى ث ، ثَ وكان الثقل النوعى للمزوج هو ثً فما هو مقدار التغير فى الحجم

(١٠) اذا امزج سائلان متساويا الحجم ثقلهما النوعى ث ، ثَ وفقد ربع الحجم الكلى بتأثير المزج فما هو الثقل النوعى للمزوج

الباب الثالث

الضغط على النقط المختلفة لمائع ساكن   سطح المائع   الموائع الحافظة لسطحها الافقى   الموائع فى المواسير المنحنية   الضغوط على الأسطح المستوية   الضغط الكلى   مركز الضغط

س ٣٢ د   ضغط المائع الساكن يكون واحدا فى جميع نقط كل طبقة افقية

ش ٨

فاذا فرض أن جزأ اسطوانيا رفيعا مثل اب شكل ٨ من مائع محوره أفقى ونهايتاه ا ، ب رأسيتان وتصورنا تجمد هذا الجزء فيحدث حينئذ جسم اب موجود فى حالة السكون بتأثير ضغوط السائل التى جميعها عمودية على محور الاسطوانة وبتأثير الضغوط الافقية الواقعة على النهايتين وبتأثير ثقل الجسم المتجمد

فاذا كان ض ، ضَ مقدارا الضغطين الواقعين على ا ، ب وكانت م هى مساحة كل من الطرفين وكانت تلك المساحة معتبرة صغيرة جدا حتى وأن الضغوط الواقعة على كل من الطرفين المذكورين يمكن اعتبارها منتظمة فتكون الضغوط الواقعة على النهايتين المذكورتين هى ض م ، ضَ م وحيث ان هذين الضغطين متزنان فيكون

$$ض = ضَ$$

وهذا البرهان ينطبق أيضا على السوائل المرنة أو السوائل التى ليست متجانسة وغير قابلة للانضغاط

س ٣٣ د   ايجاد الضغط الواقع فى أى عمق معلوم من سائل ثقيل متجانس فى حالة السكون

ش ٩

فاذا أخذت اى نقطة مثل ب شكل ٩ ورسم منها ب م رأسيا ورسم أيضا اسطوانة رفيعة حول ب م قاعدتها افقية وتصورنا تجمد هذه الأسطوانة فالجسم المتجمد حينئذ ب م يكون فى سكون بتأثير ضغط السائل على الطرف ب وبتأثير ثقل الجسم المفروض تجمده وبتأثير ضغط السائل على السطح المنحنى للاسطوانة المذكورة التى تكون جميعها افقية

وعليه فضغط السائل على ب يلزم أن يكون مساويا للثقل وحينئذ اذا كانت م سطح القاعدة ، ث

ثقل وحدة الجسم ، ه مقدار الضغط على ب يكون

ه مَ = ث مَ × اب   أو

ه = ث × اب

أعني أن الضغط الواقع في أي عمق من سائل يتغير بالنسبة لبعد هذا العمق عن سطح السائل

واذا كان ب ، ك شكل ١٠ هما نقطتان حيثما اتفق من سائل على خط رأسي فأنه بطريقة مشابهة لما تقدم مع فرض تجمد الأسطوانة ب ك يكون الفرق بين الضغطين الواقعين على النهايتين ه و ك المذكورتين مساويا لثقل الأسطوانة ب ك المذكوره

لأنه اذا كان ه ، هَ هما مقدارا الضغطين الواقعين على ب ، ك يكون

هَ مَ - ه مَ = ث مَ × ب ك   أو

هَ - ه = ث × ب ك

أعني أن الفرق بين الضغطين الواقعين في نقطتين حيثما اتفق يتغير تبعا للبعد الرأسي الكائن بين هاتين النقطتين

واذا رمز بحرف ك لكثافة المائع فثقل اب يكون مساويا الى ح ك × اب

وعليه فاذا فرض أن اب = ر يكون

ه = ح ك ر

٣٤ والمقدار ح ك ر الدال على ه فهو أحد المقادير الذي سنستعمله كثيرا وحينئذ فلا بأس من اعطاء بعض الملاحظات عليه وهي

أن ه تدل على الضغط الواقع على وحدة السطح ومقدارها الحقيقي يتعلق بوحدة الطول المعتبرة وكذا المقدار الحقيقي للكمية ح يتعلق بوحدتي الزمن والطول وأيضا مقدار ك يتعلق بالوحدة المنسوب اليها المائع وعليه فالمقدار الحقيقي للكمية ه يتعلق بجميع الوحدات المذكورة

فمثلا اذا كان الماء هو الوحدة والقدم والثانية هما وحدتا الطول والزمن فينتج حينئذ أن الضغط ه على عمق قدم واحد في المائع مع فرض أن ك = ١ ، ر = ١ يكون مساويا الى ٣٢

وحيث أنه من المعلوم أن الضغط الواقع على هذا العمق يكون حقيقة مساويا الى ١٠٠٠ أوقية لكل قدم مربع فحينئذ من بعد معلومية أن ه = ٣٢ يلزم أن تكون وحدة الثقل مساوية الى $\frac{١٠٠٠}{٣٢}$ أوقية

وعلى ذلك باعتبار تلك الوحدات يكون الضغط المؤثر على عمق ر مساويا الى ١٠٠٠ ك ر أوقية

وأيضا اذا كان الرطل هو وحدة الثقل والثانية هي وحدة الزمن والماء هو الوحدة فينتج أن

$$س \times \frac{١٠٠٠}{١٦} = ح = \frac{٣٢}{س}$$

بفرض أن س بالقدم هي وحدة الطول المفروضة وحينئذ يكون

$$س^{٢} = \frac{٣٢ \times ١٦}{١٠٠٠}$$ من القدم

ويرى أنه يلزم في جميع هذه الأحوال أن يعطى بعض ارتباطات متعلقة بثقل أو كثافة المادة المعتبرة ووحدة

بند ٣٥

٣٥د فاذا فرض أن الاسطوانة التي محورها اب شكل ١١ محدودة من جهة ب بمستو مائل على الافق مساحته ٢َ وزاوية ميله على الافق بَ

فحينئذ لأجل توازن الاسطوانة المذكورة يفرض ان ضَ رمز الضغط فى ب من المساحة ٢َ فالمركبة الرأسية تكون متزنة مع ثقل الاسطوانة وحينئذ يحدث

ضَ ٢َ جتا بَ = ث ٢ × ٢ب ولكن حيث أن

٢ = ٢َ جتا ب يكون

ضَ = ث × ٢ب

وهى معادلة غير متعلقة بالكمية بَ

وحينئذ فيكون هذا برهان آخر للقضية التى منطوقها أن الضغط الواقع على أى نقطة يكون واحدا فى جميع الأتجاهات

وربما يعترض على البرهان المقرر فى ٣٣د بأن السطح فى ٢ كان مفروضا افقيا فلذا يقال أنه يجعل الاسطوانة ٢ب رفيعة جدا بمعنى ان نصف قطرها يكون صغيرا جدا يرى أن ثقلها يكون بتقريب كاف مساويا الى حك ٢ × ٢ب

وحينئذ يكون البرهان غير متعلق بأى فرض يختص بوضع السطح العلوى للاسطوانة

ومع ذلك فلأثبات ماذكر بوجه الدقة نمرر مستويين افقيين بأعلى نقطة ب وبأسفل نقطة ٢ من الجزء الصغير ٢ب شكل ١٢ للسطح العلوى للاسطوانة ونلاحظ أنه اذا صغر نصف قطر الاسطوانة صغرا لانهاية له فالمستويان المذكوران يتحدان معا

وحينئذ اذا رمز بالرمزين ر ، رَ لارتفاعى المستويين عن نقطة ء فثقل الاسطوانة المذكورة يكون محصورا بين

حك ٢َ ر ، حك ٢َ رَ

وعليه يكون مقدار ض محصورا بين

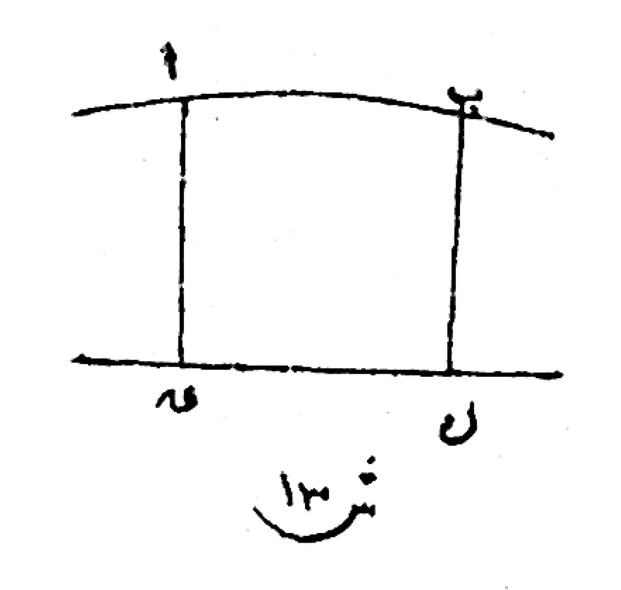
حك ر ، حك رَ

وفى النهاية عند اتحاد المستويين يكون

ض = حك ر

٣٦د اختلاف الضغوط الواقعة على سطحين من سائل مرن — قد ذكرنا فيما تقدم فى ٣د أن الغازات أجسام ثقيلة وحينئذ اذا أتبعنا السير كما فى (٣٣د) وفرضنا ان ض ، ك هما وحدتا مساحة فى سائل مرن وكانت ض فوق ك على الخط الرأسى المار بهما فيكون فرق الضغطين الواقعين على ض ، ك مساويا لثقل عمود من الهواء ض ك مختلف الكثافة لكن قانون تغير الضغط بالنسبة للارتفاعات المختلفة فى سائل مرن ليس بسيطا وسنشرح ذلك بالتفصيل فى الباب الخامس

والذى يلزمنا فقط هنا هو أن نشير الى أن الضغوط تتناقص كلما ارتفع فى السائل



ش ١٣

س ٣٧ سطح المائع الساكن يكون أفقيا

لأنه اذا فرضت نقطتان ه ، ك شكل ١٣ في مستو افقى داخل المائع ورسم منهما رأسيان ه ا ، ك ب

فيكون الضغط على ه = ث × ه ا

والضغط على ك = ث × ب ك

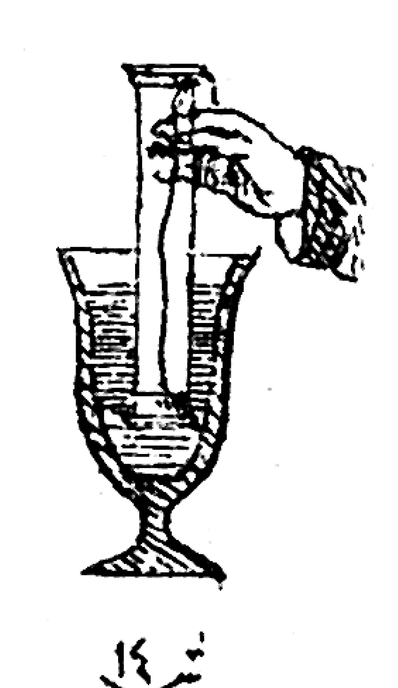
وحيث ان هذين الضغطين متساويان يكون اه = ب ك ويكون حينئذ نقطتا ا ، ب فى مستو واحد افقى

وبمثل ذلك يبرهن على أن اى نقطة من سطح السائل تكون موجودة فى المستوى الأفقى المذكور

وكان يمكن أن نقول أنه حيث أن الضغوط الواقعة على جميع النقط الموجودة فى مستو واحد افقى متساوية فبالعكس تكون النقط الواقعة عليها الضغوط المتساوية موجودة فى مستو واحد افقى وعليه فجميع نقط السطح التى يكون فيها الضغط مساويا للصفر أو لضغط الجوّ يلزم أن تكون فى مستو واحد أفقى

س ٣٨ قد علم ان ضغط الجو يساوى ١٤,٧٣ رطل على كل بوصة مربعة أو يساوى ١٥ رطل تقريبا وعلى ذلك فيمكن حساب الضغط الواقع على أى سطح وحينئذ اذا فرض أن ض رمز لضغط الجوّ الواقع على وحدة السطوح فالضغط الواقع فى عمق ر من سائل معرّض لضغط الجو يكون مساويا الى

ح ك ر + ض


ش ١٤

س ٣٩ لايضاح ما تقدم نأخذ اسطوانة مجوفة من زجاج مفتوحة الطرفين شكل ١٤ ونغلقها من أسفل بقرص ثقيل محمول بخيط مار من وسط الاسطوانة المذكورة وحينئذ اذا مسك الخيط وغمرت الأسطوانة فى اناء مملوء بالماء فيرى أنه فى عمق معلوم يمكن ترك الخيط ونفسه ويبقى القرص ملامسا للاسطوانة المذكورة ومحمولا بضغط الماء الذى تحته

فاذا رمز لثقل القرص بحرف ث ولنصف قطر الاسطوانة بالرمز نه فأن العمق س الذى يكون فيه القرص محمولا بتأثير الضغط يعلم من المعادلة الآتية وهى

ث = ح ك ط نه٢ س

ولا يكون لضغط الجوّ تأثير فى هذه الحالة حيث أن ضغط الجوّ الواقع على القرص من اعلى الى أسفل متزن مع ضغط الجوّ الواقع من اسفل الى اعلا المنتقل اليه من سطح الماء

س ٤٠ اذا كان فى (س ٣٢) الخط ا ب شكل ١٥ لم يكن موجودا بتمامه داخل السائل فيمكن اثبات صحة القضية بمساعدة (س ٣٣)

لأنه يمكن توصيل نقطتى ا ، ب بخطوط افقية ورأسية كالخطوط اح ، ح ء ، ء ب وحينئذ يكون

ش ١٥

الضغط فى ب = الضغط فى ء ـ ث × ب ء

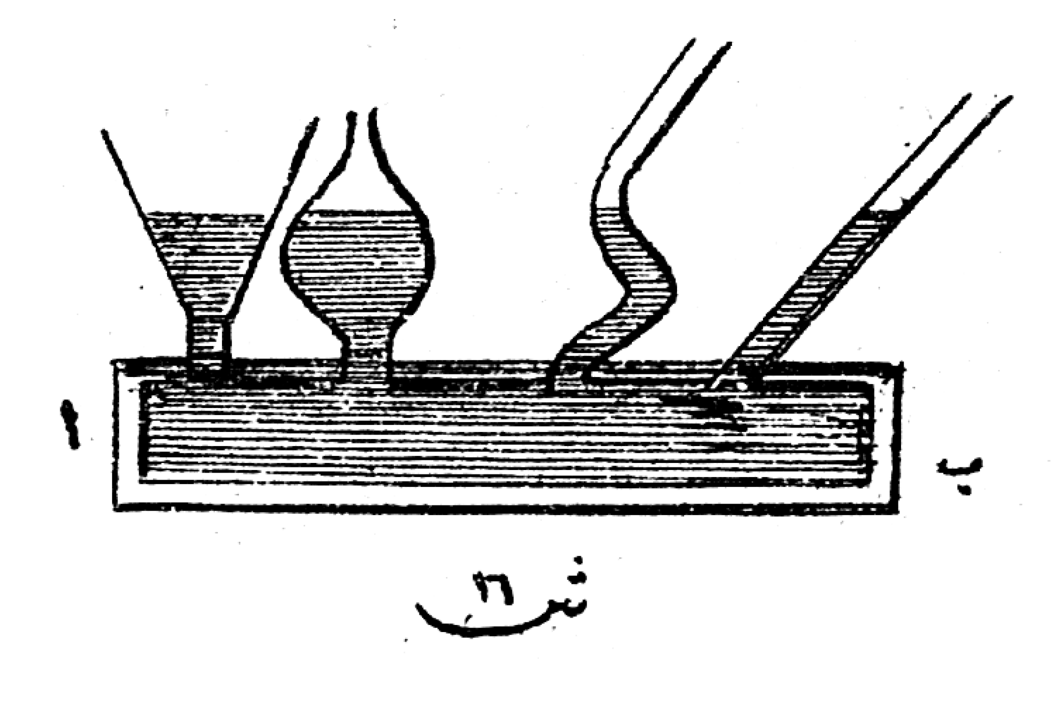
= الضغط فى حـ ـ ث × ا حـ

= الضغط فى ا

س٤١ يظهر مما ذكر أن جميع نقط سطح المائع التى يكون فيها الضغط مساويا للصفر أو لتأثير ضغط الجو يلزم أن تكون فى مستو واحد أفقى وهذا يسرى على الحالة التى يكون فيها سطح المائع منقطع بانغمار أجسام صلبة أو بأى واسطة كانت

وما ذكر يمكن ايضاحه أحيانا بالعبارة الآتية وهى أن الموائع تكون دائما حافظة لسطحها الأفقى

وهاك تجربة توضح ذلك مبينة فى الشكل ١٦ المشتمل على عدد حيثما اتفق من الأوانى الزجاجية المختلفة الشكل المتصلة جميعها بماسورة أو اناء مغلق ا ب فيرى أنه اذا صب الماء فى احدى الأوانى المذكورة فانه بعد امتلاء الماسورة ا ب يرتفع الماء المذكور الى ارتفاع واحد فى جميع تلك الأوانى واذا انصرف جزء من احدى هذه الأوانى فان الماء يحط فى وضع جديد بحيث يكون ارتفاعه واحدا فى جميعها



ش ١٦

ويرى تطبيق هذه القاعدة عمليا فى كيفية توزيع المياه فى المدن وهى أن يوضع خزان على ارتفاع عظيم ومنه تتفرع عدة مواسير لتوزيع المياه الى أعلى المنازل أو الى أى نقطة لا يتجاوز ارتفاعها سطح الماء فى الخزان المذكور وتلك المواسير يمكن ان تكون مارة فى باطن الأرض أو على طريق بحيث لا يكون أى جزء منها أعلى من السطح الأصلى للخزان السالف الذكر

س٤٢ السطح المشترك لمائعين لا يمتزجان يكون افقيا

لأنه اذا فرضت نقطتان ه ، ك شكل ١٧ فى السائل السفلى وكانتا فى مستو واحد افقى ورسم منهما الرأسيان ه ا ، ك ب العموديان على سطح السائل العلوى فيقابلان السطح المشترك للسائلين فى نقطتى حـ ، ء وحينئذ اذا كان ثَ هو ثقل وحدة الحجم من السائل السفلى ، ث هو ثقل وحدة الحجم من السائل العلوى فيكون

ش ١٧

الضغط فى ه = ثَ × حـ ه + الضغط فى حـ

= ثَ × حـ ه + ث × حـ ا

والضغط فى ك = ثَ × ك ء + ث × ء ب

وعليه يكون ثَ × حـ ه + ث × حـ ا = ثَ × ك ء + ث × ء ب

وكذا حيث أن ا ب افقى فيكون

حـ ه + حـ ا = ك ء + ء ب

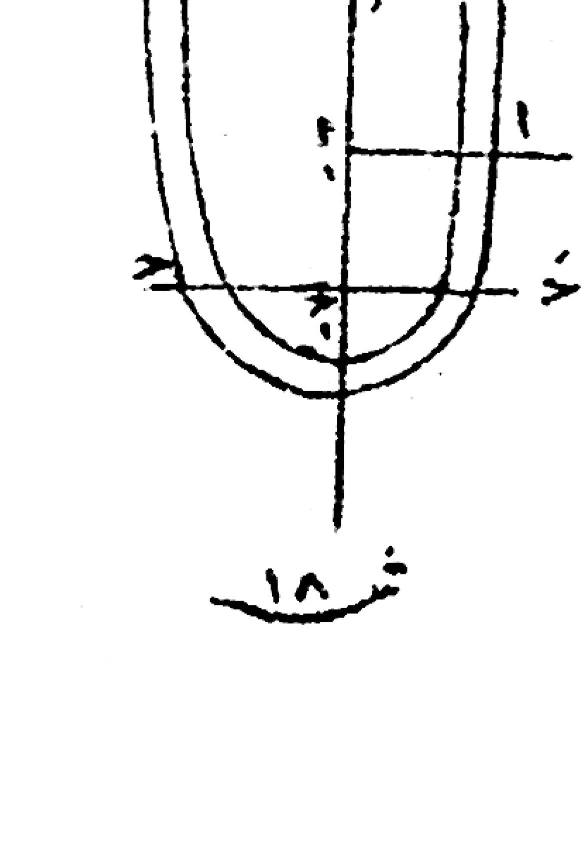
ونضرب هذه المعادلة فى ث وطرحها من بعد الضرب من المعادلة السابقة يحدث

(ثَ - ث) حـ ه = (ثَ - ث) ك ء أو

حـ ه = ك ء

وحينئذ يكون حـ ء افقيا

بـ ٤٣ـد اذا تقابل مائعان لا يمتزجان في ماسورة منحنية فاوتفاعا سطحيها العلويين عن السطح المشترك لهما يكونان متناسبين عكسا لكثافتيها



ش ١٨

لأنه اذا فرض أن ا ، ب شكل ١٨ هما السطحان العلويان و حـ هو السطح المشترك وأن ك ، كَ هما كثافتا ب حـ ، ا حـ ا ورسم مستويات افقية من ا ، ب ، حـ فتقابل المستقيم الرأسى فى اَ ، ب ، جـ وفرض أن حَ من السائل الكثيف موجودة مع حـ فى مستو واحد أفقى يكون

الضغط فى حـ = حـ ك × ب جـ

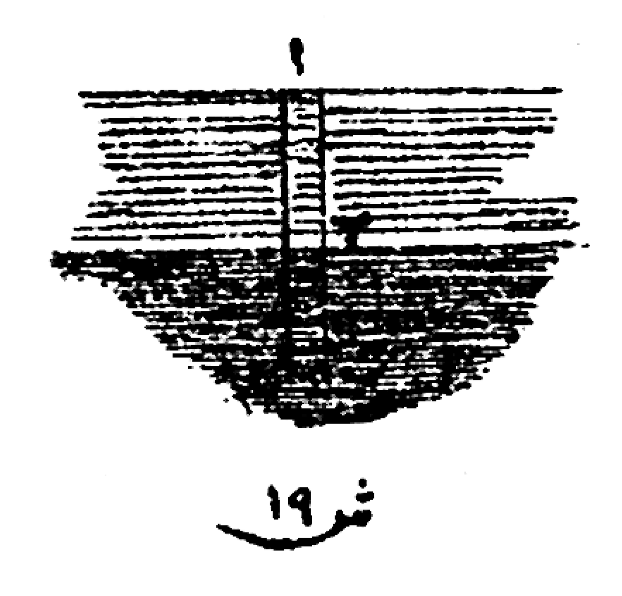
والضغط فى حَ = حـ كَ × اَ جـ

وبناء على ش ٣٢ـد يكون هذان المقداران متساويين وعليه يكون

ك × ب جـ = كَ × اَ جـ أو

ب جـ : اَ جـ = $\frac{1}{ك}$: $\frac{1}{كَ}$ وهو المطلوب

ش ٤٤ـد اذا كان سائلان لا يمتزجان موجودين فى اناء واحد وكان المطلوب ايجاد الضغط فى عمق معلوم من السائل السفلى



ش ١٩

نفرض ان ت شكل ١٩ هى النقطة التى فى السائل السفلى ونرسم منها خطا رأسيا ت ب ا فيقابل السطح المشترك فى ب ونرسم اسطوانة رفيعة على ا ت ونفرض تجمدها فحينئذ اذا كان ه هو الضغط على ت وكان اَ هو مساحة قطاع الأسطوانة يكون

ه اَ = ثقل ا ت = حـ ك × ا ب × اَ + حـ كَ × ب ت × اَ

بفرض ان ك ، كَ هما الكثافتان أو

ه = حـ ك × ا ب + حـ كَ × ب ت

وهذا يمكن استنتاجه مباشرة من المعادلة

ه = حـ كَ × ب ت + الضغط فى ب

لأن الضغط فى ب = حـ ك × ا ب

وبهذه الطريقة يمكن تعيين الضغط على أى نقطة من جسم السائل المحتوى على عدد حيثما اتفق من الطبقات ذات الكثافات المختلفة

واذا كان السطح ا معرضا لضغط الجو ض يكون

الضغط فى ت = حـ كَ × ب ت + حـ ك × ا ب + ض

بـ ٤٥ـد

ش ٤٥ ولنشرع الآن في الكلام على حالتين بسيطتين لضغط السائل على الأسطح المستوية فنقول

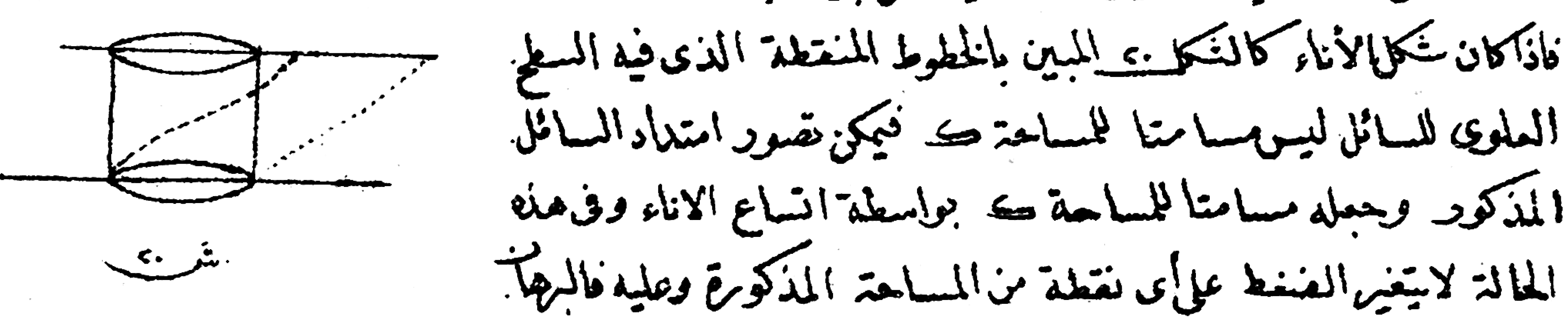
قضية — ضغط المائع على مساحة افقية يساوى ثقل عمود من المائع المذكور قاعدته المساحة المذكورة وارتفاعه يساوى انحطاط المساحة المذكورة عن سطح المائع المذكور

لانه اذا كان ر هو الانحطاط عن سطح المائع فالضغط في نقطة ما يكون مساويا الى ث × ر أو حـ ك ر

وحينئذ اذا كان أ رمزا للمساحة فالضغط عليها يساوى ث ر أ وهذا المقدار ر أ عبارة عن حجم العمود المذكور

ويرى أن هذا المقدار غير متعلق بشكل الاناء الشامل للسائل

ويمكن الحصول على هذه النتيجة أيضا بالطريقة الآتية وهي أنه اذا رسم خطوط رأسية من محيط المساحة ك وفرض أن جزء السائل المحصور داخل تلك الرأسيات قد تجمد فضغط السائل الخارج يكون جميعه افقيا وعليه فالضغط على القاعدة يلزم أن يكون مساويا لثقل الجزء المتجمد



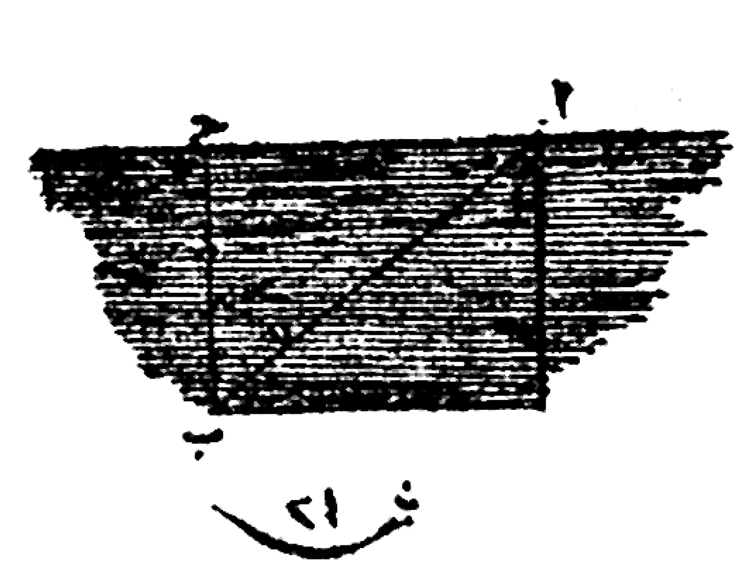
فاذا كان شكل الاناء كالشكل ٢٠ المبين بالخطوط المنقطة الذى فيه السطح العلوى للسائل ليس مسامتا للمساحة ك فيمكن تصور امتداد السائل المذكور وجعله مسامتا للمساحة ك بواسطة اتساع الاناء وفي هذه الحالة لا يتغير الضغط على أى نقطة من المساحة المذكورة وعليه فالبرهان السابق يمكن تطبيقه على هذه الحالة أيضا

ش ٢٠

مثلا اذا ملئ بالماء مخروط مجوف رأسه من أعلى وفرض ان نق نصف قطر القاعدة ، ر ارتفاع المخروط فالضغط على القاعدة يكون مساويا الى ث ط نق² ر أو حـ ك ط نق² ر أعنى يساوى ثقل اسطوانة من السائل متحدة مع المخروط في القاعدة والارتفاع

ش ٤٦ اذا غمرت مساحة مستوية على شكل مستطيل في مائع وكان أحد أضلاعه في سطح السائل ومستويه صانع مع الرأسى زاوية قدرها ى والمطلوب تعيين الضغط الواقع على المساحة المذكورة

نفرض أن الشكل هو القطاع الرأسى العمودى على الضلع ت المفروض في سطح المائع فكان اب وأن ام = أ مثلا هو قطاع المستطيل ونرسم مستويا رأسيا ب ح مارا بالقاعدة السفلى ب ونفرض تجمد السائل في الجزء ا ب ح فحينئذ يكون ثقل الجزء المتجمد واقعا على المستوى ا ب لأن الضغط على ب ح أفقى



ش ٢١

وحينئذ اذا رمز بحرف و للضغط الواقع على ا ب بالتعامد على مستويه يكون

و جا ى = ثقل ا ب ح = $\frac{1}{2}$ ث × ا ح × ب ح × ت

= $\frac{1}{2}$ ث ت أ² جا ى جا ى أو

و = $\frac{1}{2}$ ث ت أ² جا ى = ث ت أ × $\frac{1}{2}$ أ جا ى

أعنى أن الضغط يكون مساويا الى ثقل عمود من السائل قاعدته المستطيل المفروض وارتفاعه مساويا لانحطاط منتصف اب عن سطح المائع

وحيث ان اتجاه الضغط د يصنع مع الأفق زاوية قدرها ى فتكون المركبة الافقية له مساوية الى

½ ث ت ا٢ جتا ى

وبالتأمل نرى ان الجزء المجهد ابح فى حالة السكون بتأثير الضغط الأفقى الواقع على بح وبتأثير الثقل وبتأثير رد الفعل د

وعليه فالضغط على بح = د جا ى = ½ ث ت ا٢ جتا ى

= ث × ت ا جا ى × ½ ا جا ى

= ث (مساحة بح) (انحطاط منتصف بح)

وهو عين القانون الذى نتج بالنسبة الى اب وقد ينتج القانون المذكور أيضا بجعل ى = . فى مقدار د والنتائج السابقة يمكن تعميمها فى البند الآتى الذى فيه نتخذ طريقة أخرى

الضغط الكلى

بند ٤٧ تعريف ـ الضغط الكلى لسائل على سطح ما هو مجموع الضغوط العمودية الحادثة من السائل المذكور على كل جزء من السطح المذكور

ففى حالة ما يكون السطح مستويا فأن الضغط فى كل نقطة يكون فى اتجاه واحد والضغط الكلى يكون حينئذ محصلة الضغوط وأما فى حالة ما يكون السطح منحنيا فأن الضغط الكلى يكون مساويا للمجموع الرقمى لجميع الضغوط المؤثرة فى اتجاهات مختلفة على السطح المفروض

بند ٤٨ قضية ـ الضغط الكلى لمائع على سطح ما يساوى ثقل عمود من المائع المذكور قاعدته مساوية لمساحة السطح المفروض وارتفاعه مساويا لانحطاط مركز ثقل ذلك السطح عن سطح المائع

لأنه اذا فرض أن السطح منقسم الى عدد عظيم من مساحات صغيرة جدا مثل ا١ ، ا٢ ، ا٣ .... الخ وفرض أن ع١ ، ع٢ ، ع٣ .... الخ هى انحطاطات مراكز ثقل تلك المساحات عن سطح المائع المفروض فبفرض أن المساحات صغيرة جدا يمكن اعتبار كل منها سطحا مستويا والضغوط الواقعة عليها تكون حينئذ مساوية على التناظر الى

ث ا١ ع١ ، ث ا٢ ع٢ ، ث ا٣ ع٣ .... الخ

باعتبار أن الضغط على كل مساحة منتظم وحينئذ يكون

الضغط الكلى = ث مج (ا ع)

ولكن اذا رمز بحرف ع لانحطاط مركز ثقل السطح بتمامه يكون

ع = مج (ا ع) / مج (ا) وحينئذ يكون

الضغط الكلى = ث ع مج (ا) أو

الضغط الكلى = ث ع س

بفرض

بفرض ان س هي مساحة السطح المفروض وفي هذا المقدار ر س عبارة عن حجم العمود المذكور
واذا كان ك رمزا لكثافة السائل فمقدار الضغط الكلي يكون مساويا الى

ح ك ر س

المثال الأول — مستطيل مغمور وضلعان منه افقيان وأن الضلع العلوي شكل ٢٢ منحط عن سطح المائع بمقدار ح ومستوى المستطيل المذكور مائل على الرأسي بزاوية قدرها ى

فنرمز للضلع الافقي بحرف ا وللضلع الآخر بحرف ب وحينئذ فانحطاط مركز الثقل يساوي ½ (٢ح + ب حا ى)

والضغط الكلي = ½ ث (٢ح + ب حا ى) اب

المثال الثاني — اسطوانة رأسية نصف قطر قاعدتها نو وارتفاعها ه مملوءة بسائل

فالسطح المحدب = ٢ ط نو ه

والضغط الكلي = ث ط نو ه²

المثال الثالث — مخروط مجوف رأسه اسفل شكل ٢٣ مملوء بالماء

فنرمز بحرف نو لنصف قطر القاعدة وبحرف ه لارتفاع المخروط وحينئذ بقطع المخروط في اتجاه أحد الرواسم وانفراده على مستو فسطحه يكون قطاع دائرة فيه الضلع المائل هو نصف القطر ومحيط القاعدة هو القوس

لكن مساحة القطاع = ½ (القوس) (نصف القطر)

والسطح = ط نو $\sqrt{\text{نو}^2 + \text{ه}^2}$

وحيث أن سطح المخروط هو نهاية سطح الهرم المكون من مثلثات رأسها المشترك في رأس المخروط وقواعدها اضلاع شكل كثير الأضلاع المرسوم داخل الدائرة وكان مركز ثقل كل مثلث منحط عن سطح السائل بقدر ثلث ه فيكون ⅓ ه هو مقدار انحطاط مركز ثقل سطح المخروط وعليه

فالضغط الكلي = ⅓ ث ط نو ه $\sqrt{\text{نو}^2 + \text{ه}^2}$

المثال الرابع — اذا فرض أن الاسطوانة في المثال الثاني مسدودة من الطرفين ومملوءة بالمائع ومحورها مائل على الرأسي بزاوية قدرها ى شكل ٢٤ وكان سطح السائل افقيا ومارا بأعلى نقطة من الاسطوانة المذكورة

فانحطاط مركز الثقل ح = ½ه حا ى + نو حا ى

وحينئذ يكون الضغط الكلي على السطح المحني مساويا الى

ث ط نو ه (ه حا ى + ٢ نو حا ى)

والضغط الواقع على السطح بما فيه القاعدتين يكون مساويا الى

شكل ٢٢

شكل ٢٣

شكل ٢٤

ث (ط س هـ + ط ن) (هـ حا ء + ، س حا ء)

المثال الخامس — اذا كان اناء مكعب الشكل مملوء بمائعين متساويين في الحجم كثافتهما معلومتان شكل ٢٥ وكان المطلوب معرفة الضغط على القاعدة وعلى أحد أوجه الاناء المذكور

نفرض ان أ رمز لأحد اضلاع الشكل وأن ك ، كَ كثافتا المائعين العلوي والسفلي مع فرض أن كَ أكبر من ك

وحينئذ فالضغط على القاعدة = ثقل جميع السائل

$= ح كَ \frac{أ}{٢}^{٣} + ح ك \frac{أ}{٢}^{٣}$

والضغط على الجزء ب حـ $= ح ك \frac{أ}{٢} × \frac{أ^{٢}}{٤} = \frac{١}{٨} ح ك أ^{٣}$

ولايجاد الضغط على ا حـ يعوض المائع ء حـ بثقل مساوٍ له من المائع السفلي وهذا التعويض لا يؤثر في الضغط على أي نقطة من الوجه ا حـ

وحينئذ اذا كان ت ءَ هو السطح المستجد يكون

$كَ حـ تَ = ك حـ ب = ك \frac{أ}{٢}$

وكذا انحطاط مركز ثقل ا حـ عن ت $= ت حـ + \frac{أ}{٤} = \frac{أ}{٤} (١ + \frac{٢ك}{كَ})$

وحينئذ فالضغط على ا حـ $= ح كَ \frac{أ^{٢}}{٢} × \frac{أ}{٤} (١ + \frac{٢ك}{كَ})$

$= \frac{١}{٨} ح كَ أ^{٣} (١ + \frac{٢ك}{كَ})$

مركز الضغط

٤٩ — تعريف — مركز الضغط على مساحة ما مستوية هو نقطة تأثير محصلة ضغوط السائل على المساحة المستوية المذكورة

فاذا اعتبرنا الحالة البسيطة التي فيها مستطيل مغمور في مائع واحد أضلاعه في سطح المائع المذكور نقسم المساحة المفروضة الى اجزاء متساوية صغيرة جدا بمستقيمات افقية وحينئذ فالضغط على كل جزء منها يكون واقعا في منتصفه ومناسبا لانحطاطه عن سطح المائع وحينئذ فيؤول الأمر لايجاد مركز ثقل جملة قوى متوازية موثرة بالتعامد على المستوى المذكور في نقط من الخط هـ ء متساوية الأبعاد ومناسبة تلك القوى لابعادها عن هـ شكل ٢٦

وهذا يرجع الى تعيين مركز ثقل مثلث رأسه في هـ ومنتصف قاعدته ء وعليه فمركز الضغط يقسم هـ ء بنسبة ٢ الى ١

وبالمثل فانه يمكن تعيين مركز ضغط مثلث رأسه في سطح المائع وقاعدته افقية شكل ٢٧ ومركز ضغط مثلث قاعدته في سطح المائع شكل ٢٨

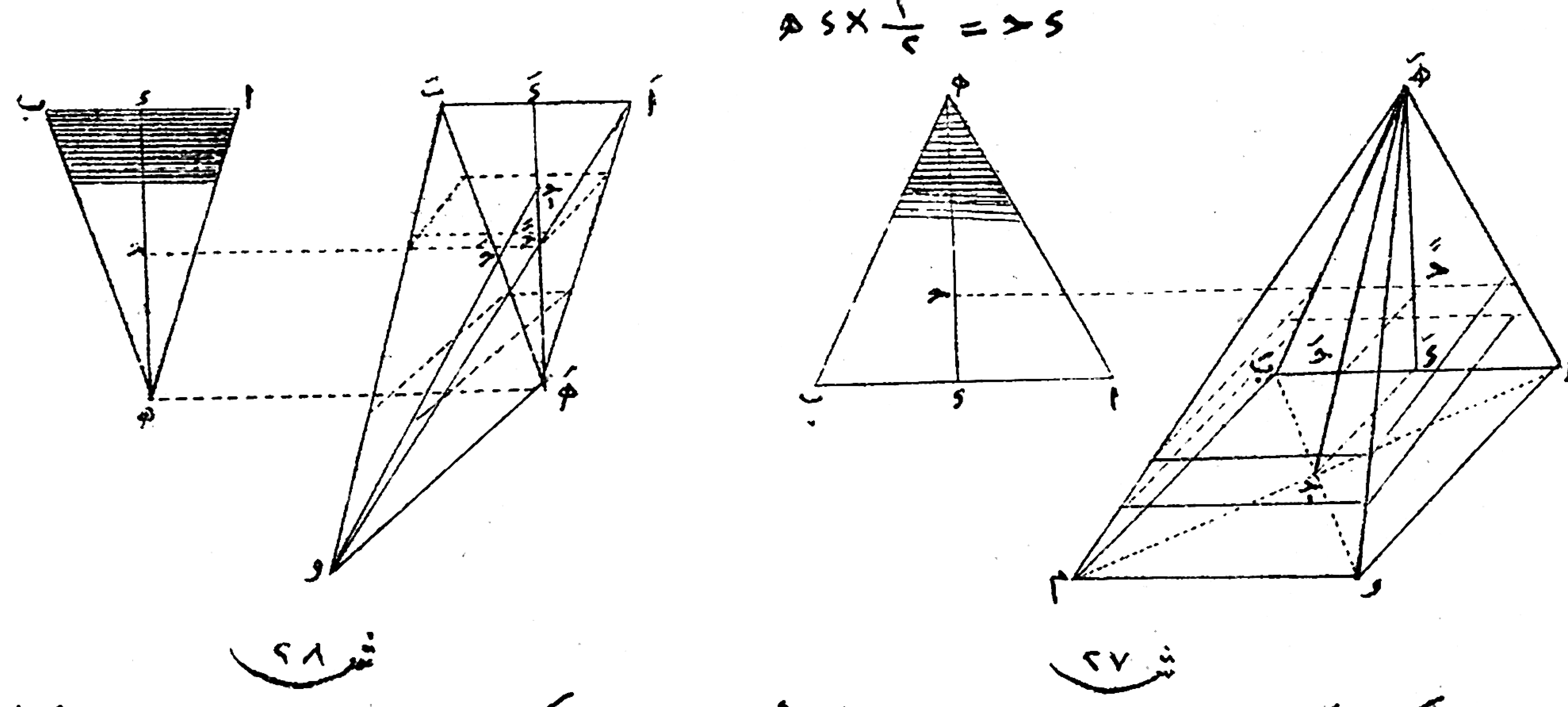
ففي الحالة الأولى يكون بعد مركز الضغط عن سطح المائع مساويا $\frac{٣}{٤}$ الارتفاع لان الضغط الواقع على المثلث في هذه الحالة يناسب حجم الهرم الرباعي هـ أ ءَ م ت وحينئذ يكون مركز ثقله حـ عبارة عن مركز الضغط الذي

الذى يمكن تعيين وضعه على سطح المثلث اهب فى نقطة ح من بعد اسقاط نقطة حَ فى حً واسقاط نقطة حً فى ح ويتحقق حينئذ أن

هـ ح = ٣/٤ × هـ ى

وفى الحالة الثانية يكون مساويا لنصف بعد أوطى نقطة عن سطح المائع المذكور لأن الضغط الواقع على المثلث فى هذه الحالة الأخيرة يناسب حجم الهرم المثلثى و أ ت هَ وحينئذ يكون مركز ثقله حَ عبارة عن مركز الضغط الذى يمكن تعيين وضعه على سطح المثلث اب هـ فى نقطة ح من بعد اسقاط نقطة حَ فى حً واسقاط نقطة حً فى ح ويتحقق حينئذ أن

ى ح = ١/٢ × ى هـ



شـ ٢٨ شـ ٢٧

نتيجة ويمكن الآن فهم حالة ضغوط السوائل وأن تأثيرها لا يتعلق بكميتها بل يتعلق بوضع وترتيب الأجزاء المتوالية للسطوح المضغوطة

ويلزم أن يلاحظ ان سطح أى سائل غير مرن أو مائع يكون دائما مستويا افقيا مرسوما من أعلى نقطة أو نقط من السائل وأن الضغط يتعلق فقط بالانحطاط أسفل المستوى الافقى المذكور

فمثلا فى انشاء بوابات الهويسات فأن اتساع مجارى المياه ليس له دخل فى الضغط بل أن الضغط يتعلق بارتفاع السطح وفى حساب القوى فى الانشاآت يلزم اعتبار أعظم ارتفاع عند المدّ وأما التأثيرات التى تنشأ من صعود المياه فى المد السريع أو العواصف لها اعتبار غير ذلك

ويرى من هذه القاعدة أنه فى انشاء الجسور أو تقوية شواطئ الأنهر يلزم أن تكون القوى مناسبة الى الانحطاط عن سطح الماء

اختبار فى الباب الثالث

(١) ما مقدار الضغط الواقع على قاعدة اناء من صب مائع زيادة عما هو موجود فيه من ذلك المائع

(٢) المطلوب تعيين الضغط على عمق ١٠٠ قدم فى بحيرة باهمال ضغط الجو ثم باعتباره

(٣) وضح الحالة التى فيها الموائع تحفظ سطحها الأفقى

(٤) خزّان ماء مرتفع بقدر ٥٠ قدم عن مستوى أرضية منزل والمطلوب تعيين ضغط الماء فى ماسورة مرتفعة بمقدار ٣٠ قدم عن المستوى المذكور

(٥) ثلاث موائع غير قابلة للمزج موضوعة فى اناء والمطلوب البرهان على أن اسطحها المشتركة تكون افقية وايجاد الضغط على عمق ما فى المائع السفلى

(٦) مساحة مثلثية متساوية الأضلاع طول كل ضلع منها قدم واحد غمرت فى الماء وكان أحد اضلاعها فى سطح الماء والمطلوب تعيين الضغط عليها بالأرطال

(٧) ميّز بين الضغط الكلى وبين محصلة الضغط

(٨) مخروط مجوّف رأسه أعلاه مملوء بمائع ملأً تاماً والمطلوب تعيين الضغط الكلى على سطحه المحدب

(٩) المطلوب البرهان على أن انحطاط مركز ضغط مساحة مستوية عن سطح المائع يكون أكبر من انحطاط مركز ثقل تلك المساحة عن السطح المذكور

(١٠) المطلوب تعيين مركز ضغط مثلث رأسه فى سطح المائع وقاعدته افقية

(١١) مستطيل أحد اضلاعه فى سطح المائع والمطلوب تقسيمه بخط افقى الى قسمين بحيث يكون الضغط فيهما واحداً

(١٢) المطلوب تقسيم المستطيل المتقدم بخطوط افقية الى اجزاء يكون الضغط فيها واحداً

(١٣) مثلث قاعدته افقية ورأسه فى سطح المائع والمطلوب تقسيمه بخط افقى الى قسمين يكون الضغط فيهما واحداً

أمثلة

(١) مثال — اسطوانتان رأسيتان موضوعتان على طاولة افقية ومستطرقتان بانبوبة ملامسة للطاولة المذكورة ومملوء جزء منهما بالماء ويوجد فى احدى الأسطوانتين المذكورتين مكبس محكم ملامس للماء الموجود فيها ثقله معلوم والمطلوب ايجاد وضع ذلك المكبس بعد حصول التوازن

(٢) اذا كان السطح العلوى لاناء مملوء بالماء مربعاً ضلعه ٦ بوصه ٣ قدم ومتصل بداخل الاناء المذكور ماسورة مملوءة بالماء ايضاً لارتفاع ٨ قدم فما مقدار الثقل (بالأرطال) الذى يلزم وضعه على غطاء الأناء ليمنع الماء من الخروج من بعد معلومية ان ثقل القدم المكعب من الماء يساوى ١٠٠٠ أقية

(٣) شكل متوازى الاضلاع مغمور فى مائع احد اضلاعه فى سطح المائع المذكور والمطلوب مد من احدى نهايتى ذلك الضلع خطاً مستقيماً بحيث يقسم الشكل المفروض الى قسمين يكون فيهما الضغط واحداً

(٤) انبوبة رفيعة ا ب د شكل ٢٩ منحنية بحيث أن كلاً من الجزئين ا ب ، ب د مستقيم وعمودى على الآخر والانبوبة المذكورة موضوعة بحيث ان فرعيها مائلان بالتساوى على الخط الرأسى من الجانبين وصب فيها مائعان متساويا الحجم كثافتاهما بنسبة ٢ الى ١ والمطلوب ايجاد ارتفاع السطح المشترك بينهما

شكل ٢٩

بينهما عن نقطة ب

(٥) اسطوانة رأسية ملسة ارتفاعها قدم واحد وقطرها قدم واحد كذلك ملئت بالماء وغلقت بمكبس ثقيل ثقله يساوى ٤ أرطال والمطلوب ايجاد الضغط الكلى على سطحها المحدب

(٦) كرة تزن رطلا واحداً فى الماء غلقت فيه بخيط مربوط فى المكبس السابق وكانت نسبة الثقل النوعى لمعدن الكرة المذكورة الى الثقل النوعى للماء كنسبة ٧ الى ٢ والمطلوب ايجاد الضغط فى أى عمق ثم ايجاد الضغط الكلى على سطح الكرة المفروضة

(٧) اناء اسطوانى الشكل موضوع على طاولة يحتوى على ماء غمرت فيه قطعة من الرصاص حجمها معلوم معلقة بخيط والمطلوب معرفة كيفية تغير الضغط على القاعدة حينما يكون الاناء ملآنا وحينما يكون غير ملآن وايجاد مقدار التغير فى الحالة الثانية

(٨) اسطوانة مجوفة مسدودة من طرفيها مملوءة بالماء ومعلقة بحيث أن محورها يكون افقيا وكان الضغط الكلى على سطحها بما فيه القاعدتين أقل من ثلاثة امثال ثقل المائع والمطلوب المقارنة بين ارتفاع وقطر الاسطوانة المذكورة

(٩) مثلث ا ب حـ شكل ٣٠ غمر رأسيا فى مائع بحيث أن الرأس حـ موجودة فى السطح والضلعان ا حـ ، ب حـ مائلان على السطح المذكور بميل واحد والمطلوب البرهان على أن الرأسى المار بنقطة حـ يقسم المثلث المفروض الى مثلثين بحيث تكون النسبة الكائنة بين الضغطين الواقعين عليهما كنسبة ت^٣ + ٣ ا^٢ ت الى ا^٣ + ٣ ا ت^٢

شكل ٣٠

(١٠) مثلث غمر فى سائل واحد أضلاعه فى السطح والمطلوب تعيين وضع نقطة داخل المثلث المذكور بحيث اذا وصل منها الى رؤوس المثلث الثلاث بخطوط مستقيمة فأن المثلث المفروض ينقسم الى ثلاثة مثلثات تكون الضغوط فيها متساوية

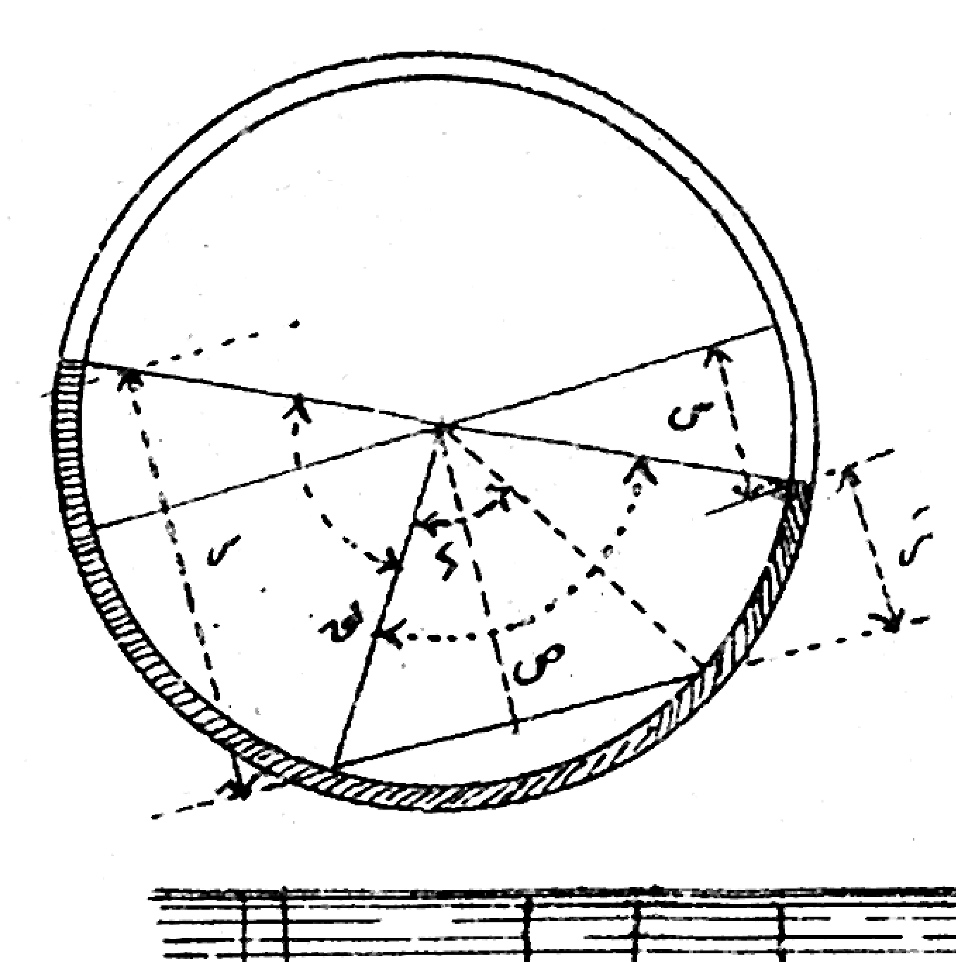
(١١) الضلع ا ب من مثلث ا ب حـ شكل ٣١ فى سطح المائع وأخذت نقطة مثل ء على الضلع ا حـ بحيث يكون الضغط على كل من المثلثين ب ا ء ، ب ء حـ واحدا والمطلوب ايجاد النسبة الكائنة بين ا ء ، ا حـ

شكل ٣١

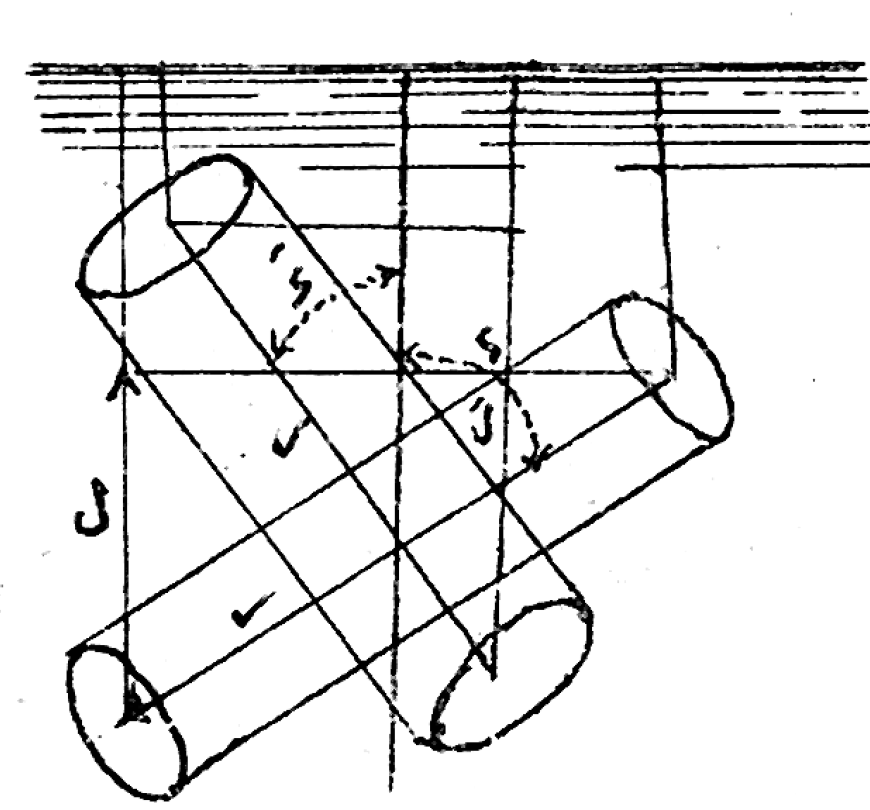
(١٢) سائلان ا ثقالهما النوعية بنسبة ٢ الى ٣ واخفهما موضوع فوق الآخر لسمك ٤ بوصات وغمر مربع رأسيا بحيث أن أحد اضلاعه فى السطح العلوى والمطلوب تعيين المقدار اللازم اعطاؤه لضلع المربع المذكور بحيث يكون الضغطان الواقعان على جزئى ذلك المربع الموجودين فى السائلين المذكورين واحدا

(١٣) اسطوانة رأسية محتوية على أحجام متساوية من ثلاثة سوائل غير ممتزجة كثافاتها ك ، ٢ك ، ٣ك على التوالى موضوع بعضها فوق الآخر بحسب الكثافة والمطلوب المقارنة بين الضغوط الواقعة على اجزاء السطح

المحدب للاسطوانة المفروضة الملامسة لتلك السوائل المختلفة



(١٤) انبوبة رفيعة محنية على شكل دائرة محتوية على حجمين معلومين من مائعين مختلفين وكان المائعان المذكوران شاغلين نصف الانبوبة المفروضة فقط والمطلوب تعيين وضعهما فى حالة التوازن

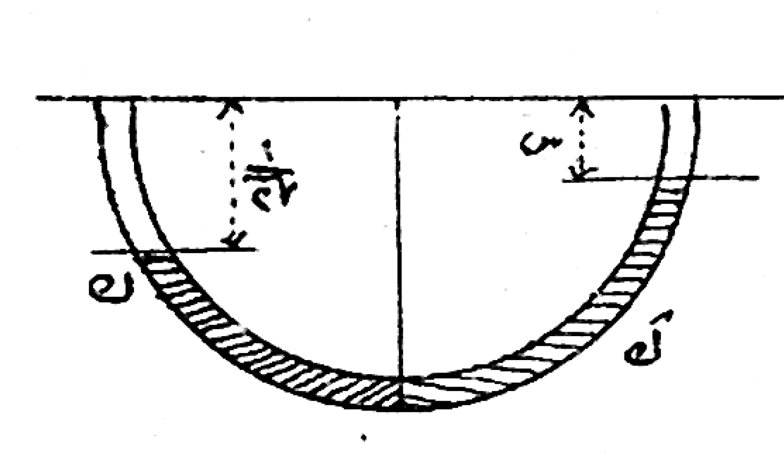


(١٥) ميلا محورا اسطوانة مصمتة مغمورة فى مائع على الخط الرأسى فى وضعين مختلفين متممان لبعضهما بعضا وكان ق الفرق بين الضغطين الواقعين على القاعدتين فى أحد الوضعين ، قَ الفرق بين الضغطين الواقعين على القاعدتين المذكورتين فى الوضع الآخر والمطلوب البرهان على أن ثقل المائع المحذوف يكون مساويا الى

$$(ق^٢ + قَ^٢)^{\frac{1}{2}}$$

(١٦) اسطوانة رأسية محتوية على كمية من سائل عمقه يساوى قطر قاعدة الاسطوانة وأخذت كرة ثقلها النوعى أربعة أمثال الثقل النوعى للسائل المفروض ونصف قطرها مساوٍ لنصف قطر الاسطوانة المذكورة ووضعت على السائل وحملت عليه والمطلوب تعيين ازدياد الضغط الواقع على السطح المحدب للأسطوانة المذكورة من تلك الكرة التى تكون محكمة فى الأسطوانة المفروضة

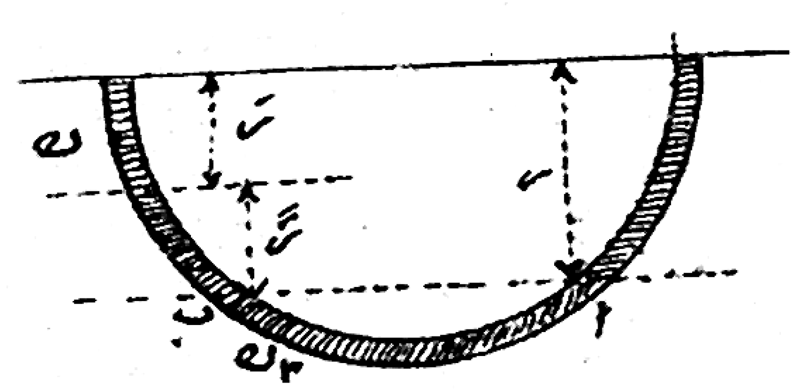
(١٧) ثلاثة سوائل كثافاتها مكونة متوالية عددية مالئة لانبوبة على شكل نصف دائرة قطرها أفقى والمطلوب البرهان على أن انحطاط أحد السطحين المشتركين يكون ضعف انحطاط السطح المشترك الآخر



(١٨) انبوبة صغيرة اسطوانية محنية على شكل نصف دائرة وموضوعة بحيث أن قطرها افقى وداخل الانبوبة المذكورة سدادة يمكن أن تتحرك الى أعلى أو الى أسفل وصب سائلان كثافتاهما ك ، كَ فى فرعى الانبوبة المذكورة وكان سطح السائل الكثيف منحطا عن مستوى القطر بمقدار $\frac{1}{ح}$ عندما تكون السدادة المذكورة رأسية والمطلوب تعيين انحطاط سطح السائل الآخر

(١٩) المطلوب البرهان على أنه اذا غمرت مساحة مستوية فى مائع رأسيا فأن مركز الضغط يقرب من مركز الثقل وعند النهاية يقع عليه

(حل مسألة ١٧)



الضغط فى ٢ = ٢ ح ك × ر

الضغط فى ب = ٣ ح ك × رَ + ح ك رً

فيكون ٢ ر = ٣ رَ + رً ولكن رً = ر - رَ فيكون

٢ ر = ٣ رَ - رَ + ر او ر = ٢ رَ وهو المطلوب

(٢٠) مساحة مستطيلية غمرت رأسيا لعمق معلوم وكان ضلعان منها افقيان والمطلوب تعيين مركز الضغط

(٢١) المطلوب ايجاد مركز الضغط لمساحة مثلثية أحد أضلاعها فى سطح المائع

(٢٢) عمق الماء أمام بوابة رأسية مستطيلية ضعف عمقه خلفها وفرض ان البوابة المذكورة مثبتة من أركانها والمطلوب تعيين الضغط على نقط الأركان المذكورة

(٢٣) اسطوانة رأسية محتوية على حجمين متساويين من مائعين والمطلوب المقارنة بين كثافتيهما حينما يكون الضغطان الكليان للمائعين المذكورين على السطح المحدب للأسطوانة المفروضة بنسبة ١ الى ٣

(٢٤) اذا كانت الثانية وحدة الزمن فماتكون وحدة الطول التى بها يمكن استخراج الضغط (الجواب ان ك = كَ) من القانون ده = حـ ك ر بالأرطال بفرض ان وحدة الحجم للماده المعتبرة وحدة تزن ١٦ رطلا (*)

(٢٥) اذا كانت كثافة الماء المقطر وحدة الكثافات وأن القدم فى الثانية الواحدة وحدة السرعة فماتكون وحدتا المسافة والزمن بحيث يستخرج من القانون ده = حـ ك ر مقدار الضغط بالأوقيات

(٢٦) اذا كانت الياردة وحدة الطول فماتكون وحدة الزمن بحيث يستخرج من القانون ده = حـ ك ر مقدار الضغط بالأرطال من بعد معلومية أن ثقل وحدة الحجم للمادة المعتبرة وحدة ١٠٠٠ رطل

(٢٧) كرة نصف قطرها ٦ بوصات موضوعة فى قاع جردل مملوء بالماء عمقه قدمان والمطلوب تعيين المقدار الرقمى للضغط على سطحها من بعد معلومية أن القدم وحدة الطول وكثافة الماء وحدة الكثافات وربع الثانية وحدة الزمن

(٢٨) جسم منشورى ثلاثى مصمت زواياميل أوجهه على بعضها بعضا ا ، ب ، حـ مغمور بتمامه فى الماء بحيث تكون أحرفه افقية وكانت ده ، ك ، ر الضغوط على الأوجه الثلاثة المقابلة على التناظر للزوايا ا ، ب ، حـ والمطلوب البرهان على أن المقدار

ده قتا ا + ك قتا ب + ر قتا حـ

يكون ثابتا مادام عمق مركز ثقل المنشور المذكور ثابتا

(٢٩) اناء مكعب الشكل موضوع على مستوى افقى وأحد أوجهه الرأسية مطلق وقابل للتحرك حول مفصل فى القاع وصب فيه جزء من سائل حجمه مساو ربع حجم المكعب المفروض وأخذ الوجه المطلق المذكور وضعا مائلا على الافق بزاوية قدرها ٤٥° والمطلوب المقارنة بين ثقل الوجه المذكور وبين ثقل السائل فى الاناء المفروض

(٣٠) صندوق مكعب الشكل مملوء بالماء ومغطى بغطاء محكم ثقيل مثبت بمفصلات ناعمة فى احدى الأحرف

(*) $\frac{١٦ \times ١٦}{١٠٠٠}$ = حـ أو $\frac{١٦ \times ١٦}{١٠٠٠ \text{حـ}}$ = ١ ثقل = $\frac{١٦}{١٠٠٠}$

وعليه يكون $\frac{١٦}{\text{حـ}}$ = ١ ومنها ١٦ = حـ أو $\frac{\text{طول}}{١}$ = $\frac{٣٢}{١٦}$ = ٢ قدم

والمطلوب المقارنة بين ظلال الزوايا التى يلزم تمييل الصندوق المذكور اليها بحركة حول الأحرف المختلفة للقاعدة حتى يبتدى انصباب الماء منه

(٣١) كوبة اسطوانية محتوية على ماء كملت بشراب وبعد زمن شوهد أن نصف الشراب المذكور قد عام على السطح ونصف الماء بقى صافيا فى القاع ونصف الكوبة المذكورة مشغول بشراب وماء ممزوجين مزجا تاما والأسطح المشتركة كانت مستويات افقية وكان ثقل الشراب يخ ثقل الماء وكثافتاهما بنسبة ١١ الى ١٢ فالبرهان على أنه فى هذا الوضع يكون الضغط الكلى الواقع من الماء الصافى على السطح المحدب للكوبة المذكورة مساويا للضغط الكلى للمائع الباقى فى تلك الكوبة

الباب الرابع

محصلة الضغوط الرأسية والأفقية على سطح ما — محصلة الضغوط على جسم مغمور — شروط توازن جسم عائم — الجمل — طريقة خلع الخوازيق الخشب — استدامة التوازن — مركز التمايل — الأجسام العائمة فى الهواء — القبة الطيارة

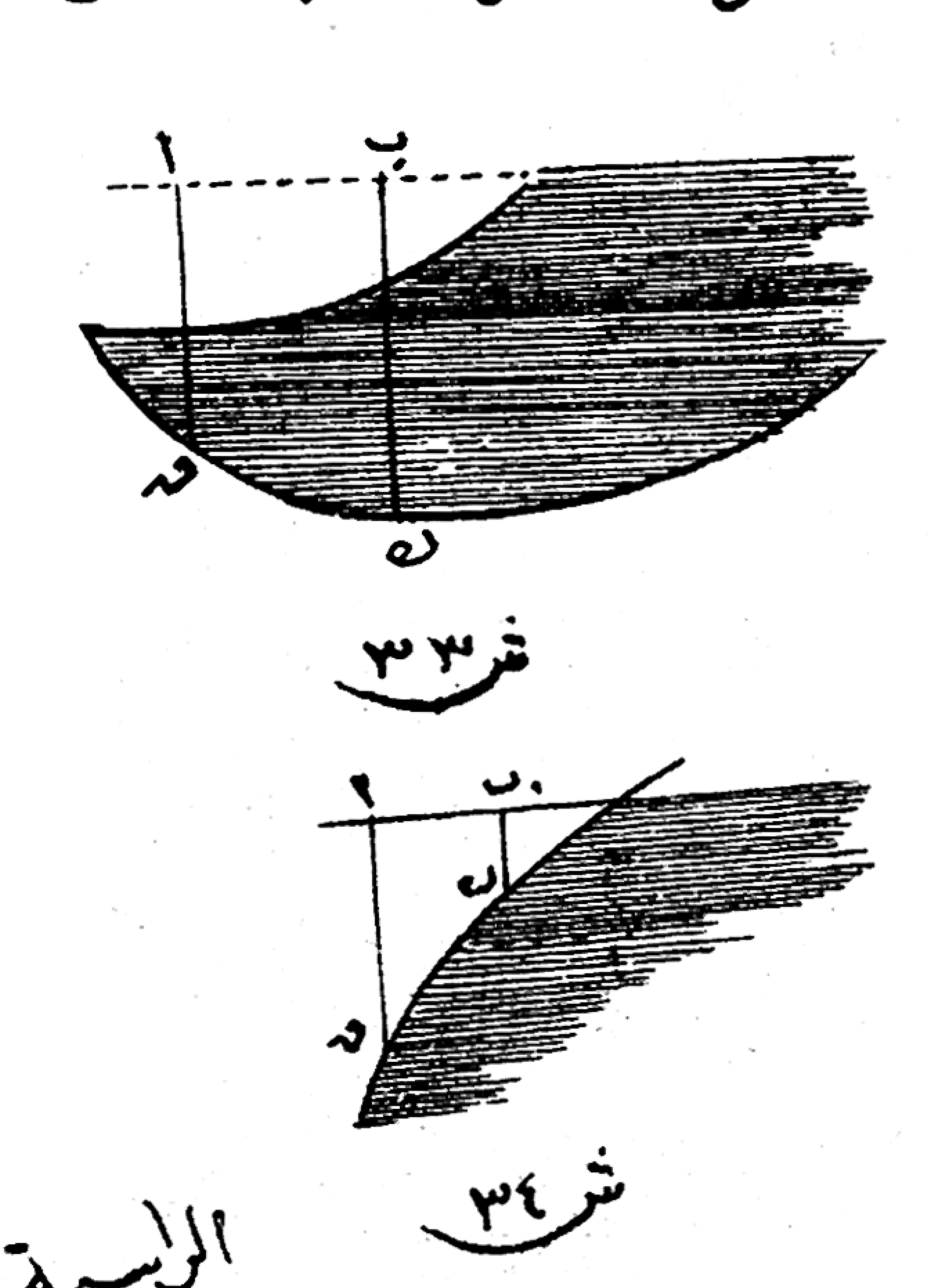
ش ٣٣

س٤٥ قضية — لايجاد محصلة الضغوط الرأسية لمائع على سطح ما

نفرض أن د ك شكل ٣٢ جزء من سطح ملامس لمائع ساكن ونرسم من نقط محيط د ك المذكور خطوطا رأسية عمودية على السطح ا ب فتكون تلك الخطوط حاصرة لاسطوانة من المائع المفروض

وحيث أن الضغط الواقع من المائع المحيط بالاسطوانة المذكورة على سطحها افقى فيكون بداهة ثقل المائع المحصور فى تلك الاسطوانة محمول بمقاومة السطح د ك السالف الذكر وحينئذ يلزم أن تكون المركبة الرأسية لتلك المقاومة مساوية ثقل اسطوانة المائع ا ب ك د

وبناء على ما تقدم فى الباب السابق يكون ما ذكرناه صحيحا سواء كان المنحنى ا ب حقيقة موجودا فى سطح المائع أو فى المستوى الافقى المار بأعلى نقطة من نقط المائع المذكور كما هو موضح فى شكل ٣٣ وعلى هذا فتكون محصلة الضغوط الرأسية عبارة عن ثقل المائع المرتفع اعلا السطح المفروض



ش ٣٣

ش ٣٤

س٤٦ وهناك حالتان أخريان يقتضى معرفتهما هما

الأولى ان المائع يمكن ان يضغط من أسفل الى أعلى ففى هذه الحالة اذا فرض أن ا ب شكل ٣٤ هو المنحنى المتكون من الخطوط الرأسية المرسومة من نقط المنحنى د ك كما تقدم وتصورنا أن المائع المحصور داخل تلك الرأسيات قد حذف وأن خارج د ك يكون متأثرا بضغط المائع الذى سطحه ا ب فيرى أن الضغط على أى نقطة من نقط د ك يكون مقداره كما وجد سابقا وانما فى جهة عكسية ومحصلة الضغوط

الرأسية

الرأسية يكون مقدارها حينئذ مثل ما تقدم وانما تكون فقط من اسفل الى أعلا وبناء على البند السابق تكون مساوية لثقل اب ك هه

وعلى ذلك تكون محصلة الضغوط الرأسية الواقعة على ده ك والمتجهة الى أعلى مساوية لثقل المائع المرتفع أعلى ده ك كما تقدم أعني تكون مساوية لثقل المائع المحصور بين ده ك وبين سطح المائع

الثانية ان يكون الضغط واقعا جزء منه الى أعلا وجزء منه الى أسفل كالضغط الواقع على ك هو ك شكل ٣٥

ش ٣٥

فني هذه الحالة نرسم الرأسي ك كَ ونبحث عن الضغطين الواقعين على ك هو كَ و كَ د على حدتهما

وحينئذ قياسا على ما تقدم فالضغط الرأسي الواقع على ك هو كَ يكون من أعلى الى أسفل ومساويا لثقل المائع المحصور بين السطح المفروض وبين السطح الرأسي ك كَ والفرق بين هذا المقدار وبين الضغط الرأسي الواقع على ده كَ من أسفل الى أعلى يكون هو محصلة الضغوط الرأسية الواقعة على السطح ده ك

وفي جميع الأحوال فان اتجاه تأثير محصلة الضغوط الرأسية يكون هو الرأسي المار بمركز ثقل المائع المرتفع أعلا السطح المفروض

٥٣ قضية — لايجاد محصلة الضغوط الافقية لمائع على سطح ما في اتجاه معلوم

نأخذ مستويا رأسيا ثابتا عموديا على الاتجاه المعلوم شكل ٣٦ ونرسم خطوطا افقية من نقط محيط السطح ده ك فتقابل المستوى الرأسي المذكور في المنحنى اب وحينئذ اذا اعتبرنا المائع المحصور كجسم صلب فيكون متزنا بثقله وبضغوط المائع على سطحه المحدب التي تكون جميعها موازية للمستوى الرأسي السابق وبالضغوط الواقعة على السطحين اب ، ده ك

ش ٣٦

وعلى ذلك فيلزم ان تكون المركبة الافقية لمقاومة السطح ده ك مساوية للضغط الواقع على اب الذي يمكن ايجاده بموجب ما تقدم والذي اتجاه تأثيره هو الخط الافقي المار بمركز الضغط الواقع على اب

٥٤ ويمكن الآن تعيين محصلة ضغوط المائع الواقعة على سطح ما مقدارا واتجاها لأنه يمكن ايجاد الضغوط الرأسية والافقية على حدتها ثم تعيين مقدار واتجاه المحصلة بناء على قواعد علم الاستاتيك

المثال الأول — آنية على شكل نصف اسطوانة مفتوحة قاعدتاها رأسيتان مملوءة بالماء شكل ٣٧ والمطلوب ايجاد محصلة الضغوط على كل من الجزئين المنقسمة اليهما تلك الآنية بمستو رأسي مار بمحور الاسطوانة المذكورة

ش ٣٧

لذلك نفرض ان هـ رمز لطول الاسطوانة ، نق رمز لنصف قطرها ونعتبر أن الشكل قطاع رأسي مار بنقطة

منتصف الطول و

فتكون محصلة الضغوط الرأسية الواقعة على اب مساوية الى

$$\text{ثقل المائع واب} = \text{ث هـ} \frac{\text{ط نق}^2}{٤}$$

بفرض ان ث ثقل الوحدة الجسمية

ومحصلة الضغوط الأفقية الواقعة على اب تساوى للضغط الواقع على القطاع الرأسي العمودى على مستوى الشكل

أعنى تساوى للضغط الواقع على مستطيل ضلعاه نق ، هـ

$$\text{يساوى ث نق هـ} \times \frac{\text{نق}}{٢} = \frac{١}{٢}\text{ث نق}^2\text{ هـ}$$

وبناء عليه فنستخرج زاوية ى التى يميل بها اتجاه محصلة الضغوط على الافق من المعادلة الآتية وهى

$$\text{طاى} = \frac{\frac{١}{٤}\text{ث ط نق}^2\text{ هـ}}{\frac{١}{٢}\text{ث نق}^2\text{ هـ}} = \frac{\text{ط}}{٢}$$

وحيث أن الضغط على أى نقطة يكون مؤثرا فى اتجاه مار بمحور الاسطوانة فمحصلة الضغوط تمر بنقطة و

وحينئذ اذا كانت زاوية دوب هى الزاوية التى ظلها يساوى $\frac{\text{ط}}{٢}$ فنقطة د تكون مركز الضغوط الواقعة على السطح المحنى

المثال الثانى – مخروط مجوف مملوء بالماء رأسه اسفل شكل ٣٨ و المطلوب تعيين محصلة الضغوط على كل من الجزئين المنقسم اليهما المخروط المذكور بمستو رأسى مار بمحوره

ذلك نفرض أن نق نصف قطر القاعدة ، ٢ ا رمز لزاوية الرأس فيكون

$$\text{الحجم} = \frac{١}{٣}\text{ط نق}^3\text{ طتا ا}$$

ونكون محصلة الضغوط الرأسية على الجزء اءوب $= \frac{١}{٢}$ ثقل السائل $= \frac{١}{٦}\text{ث ط نق}^3\text{ طتا ا}$

بفرض ان ث ثقل وحدة الحجم

$$\text{ومحصلة الضغوط الافقية} = \text{الضغط على المثلث ا و ب}$$

$$= \text{ث نق}^2\text{ طتا ا} \times \frac{١}{٣}\text{ نق طتا ا}$$

$$= \frac{١}{٣}\text{ث نق}^3\text{ طتا}^2\text{ ا}$$

$$\text{وعليه فمحصلة الضغوط} = \frac{١}{٣}\text{ث نق}^3\text{ طتا ا}\sqrt{\frac{\text{ط}^2}{٤} + \text{طتا}^2\text{ ا}}$$

واذا رمز لميل محصلة الضغوط على الافق بحرف ى يكون

$$\text{طاى} = \frac{\frac{١}{٦}\text{ط}}{\frac{١}{٣}\text{طتا ا}} = \frac{\text{ط}}{٢}\text{ طا ا}$$

وفى الغالب يكون تعيين اتجاه المحصلة المذكورة بواسطة حساب التكامل وانما فى المثال الاول امكن معرفة الاتجاه المذكور مباشرة وفى بعض الاحيان يمكن تعيينه بطرق هندسية خصوصية

فاتجاه المحصلة فى هذه الحالة الأخيرة سيتعين فى ملحقات هذا الكتاب بطريقة مخصوصة كما ذكر

س ٥٥ ايجاد محصلة الضغوط لمائع على جسم اما مغمور بتمامه واما جزء منه فقط

نتصور ان الجسم قد حذف والمحل الذى كان شاغله ملئ بالمائع وان هذا المائع قد تجمد

فيرى بداهة أن محصلة الضغوط على هذا المائع المتجمد تكون غير محصلة الضغوط على الجسم الأصلي وثقل المائع المذكور يكون محمولا بتمامه بضغط المائع المحيط به وحينئذ تكون محصلة الضغوط مساوية لثقل المائع المعوض ومؤثرة رأسيا من أسفل الى اعلا في اتجاه مار بمركز الثقل

وقد يعبر عن ذلك بعبارة اخرى بان يقال أن الجسم المغمور في مائع يفقد من ثقله كمية بقدر ثقل المائع الذى يحذف هذا الجسم من المائع المذكور مع ملاحظة ان ذلك ينطبق بالتمام على حالة انغمار جسم في سائلين

٥٦ ايجاد شروط توازن جسم عائم

حيث علم من البند السابق ان محصلة الضغوط تكون مساوية لثقل المائع المعوض وكان الجسم محمولا بتمامه بالمائع فيلزم ان يكون ثقل المائع المحذوف مساويا لثقل الجسم العائم المذكور ومركز ثقل كل منهما يكونان على خط رأسى واحد

وهذه الشروط تكون سارية أيضا على حالة ما اذا كان الجزء المغمور من الجسم العائم مغمور في مائعين أو اكثر وجميع الأحوال المماثلة لذلك يسرى عليها ما تقرر

٥٧ اذا عام جسم متجانس في مائع فانه يكون نسبة حجمه الى الحجم المغمور فيه كالنسبة العكسية للثقلين النوعيين للجسم والمائع المذكورين

فمثلا اذا كان ح ، حَ هما الحجمان ، ث ، ثَ هما الثقلان النوعيان فانه يكون

ح ث = ثقل الجسم = ثقل المائع المحذوف = حَ ثَ

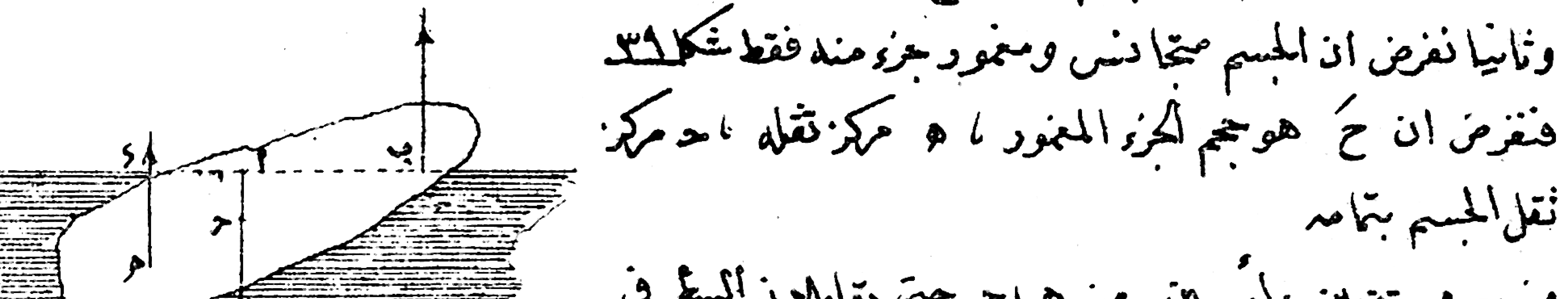
وحينئذ يكون

ح : حَ :: ثَ : ث

٥٨ ايجاد شروط توازن جسم عائم ومحمول جزئيا بخيط

فأولا نفرض ان الجسم متجانس ومغمور بتمامه فحينئذ مركزا ثقل الجسم والمائع المحذوف يكونان منطبقين على بعضهما بعضا واتجاه الخيط يكون رأسيا ومارا بمركز الثقل

وتكون شدة الخيط مساوية الى ثقل الجسم ناقصا الثقل المفقود = ح (ث - ثَ) بفرض ان ث ، ثَ هما الثقلان النوعيان للجسم والمائع



ش ٣٩

وثانيا نفرض ان الجسم متجانس ومغمور جزء منه فقط شكل ٣٩

فنفرض ان حَ هو حجم الجزء المغمور ، ه مركز ثقله ، ا مركز ثقل الجسم بتمامه

ونرسم مستقيمين رأسيين من ه ، ا حتى يقابلان السطح في نقطتى ء ، م ونفرض ان اتجاه الخيط يقابل السطح في نقطة ب

وحينئذ اذا كان ش رمزا لشدة الخيط تكون الثلاث قوى ش ، ح ث ، حَ ثَ المؤثرة في ب ، م ، ء

متزنة معا ويكون

$$\text{ح ثَ} = \text{ش} + \text{حَ ثَ} \quad)$$

$$\text{ح ثَ} \times \text{اب} = \text{حَ ثَ} \times \text{ءب}$$

فالمعادلة الثانية تدل على شروط التوازن وأما الاولى فيتعين منها شدة الخيط

وأما الحالة التي فيها جزء من جسم غير متجانس محمول بخيط فانه يمكن تركها للتمرين

س٥٩ـ الجمل ـ هو جهاز مستعمل لنقل السفن بين مائين وهو يتركب من اربعة صناديق أو اكثر لاينفذ منها الماء تملأ بالماء وتوضع بالتقابل في جانبي السفينة المفروضة وتربط بها أو تربط ببعضها مع بعض بواسطة سلاسل مارة اسفل قرينة السفينة المذكورة فاذا اخرج الماء بعد ذلك من تلك الصناديق نترتفع السفينة ويمكن نقلها حينئذ من الماء التي هي فيه الى الماء العميق الآخر ويلاحظ ان القوة الرافعة للجمل الى أعلا تكون مساوية الى ثقل الماء المحذوف بالصناديق ناقصا منه الثقل الكلي لجميع الجهاز

س٦٠ـ طريقة خلع الخوازيق الخشب ـ يحتاج في بعض الاحيان الى خلع خوازيق مغروسة في المياه العميقة كالخوازيق المستعملة لمنع دخول المياه مدة بناء الاحواض مثلا

فبعد دخول المياه في المسافة المحاطة بالخوازيق تقطع تلك الخوازيق لارتفاع مناسب ويصير تعويم زوارق مملوءة بالماء أعلاها ثم تربط الخوازيق بالزوارق المذكورة بجنازير وبعد ذلك تنزح المياه منها بالطلمبات ففي اثناء النزح ترتفع تلك الزوارق وتجذب معها الخوازيق بقوة

فاذا كان هذا العمل جاريا في بحر يحصل على فائدة عظيمة بربط الخوازيق مع الزوارق في مدة الجذر وبارتفاع المياه في مدة المد يمكن احيانا جذب الخوازيق المذكورة

وتستعمل قوة اضافية اذا لزم الحال تنزح المياه من الزوارق

س٦١ـ ولنوضح القضايا المتقدمة بتطبيقها على بعض الأحوال المخصوصة فنقول

المثال الأول ـ رجل ثقله ١٥٠ رطل وثقله النوعي ١٫١ عائم في ماء بواسطة قطعة من الفلين ثقلها النوعي ٠٫٢٤ بحيث أن أعلى نقطة في كل من الفلين وجسم الرجل المذكور في استواء الماء وان الثقل النوعي للماء مساو للوحدة والمطلوب تعيين حجم الفلين بالاقدام المكعبة

لذلك نفرض ان ح ، حَ هما حجما الفلين والرجل بالاقدام المكعبة فيكون

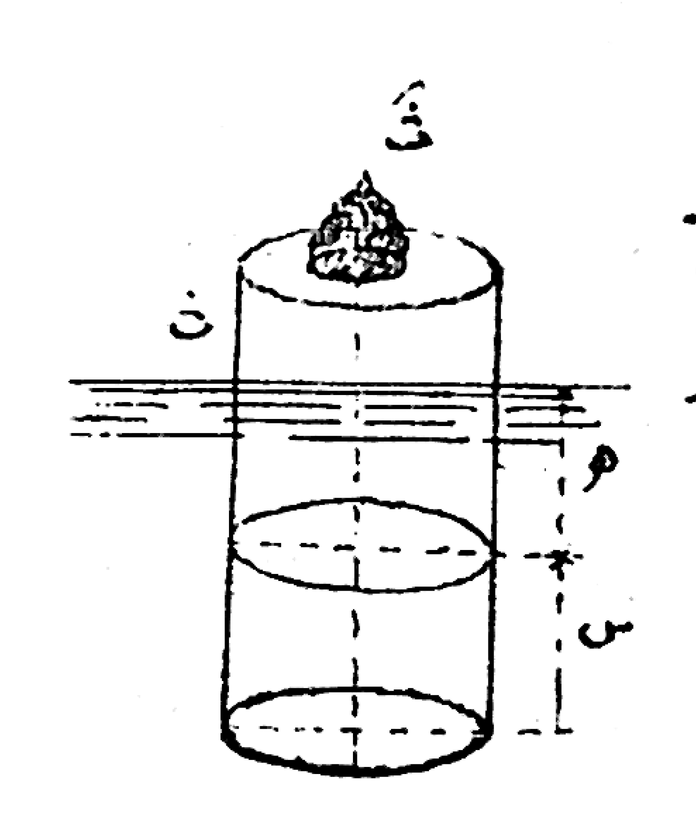
$$\text{ح} \times ٠٫٢٤ + \text{حَ} \times ١٫١ = \text{ثقل الماء المحذوف} = \text{ح} + \text{حَ} \quad \text{أو} \quad \text{ح} \times ٠٫٧٦ = \text{حَ} \times ٠٫١$$

ولكن $\text{حَ} \times ١٫١ \times \frac{١٠٠٠}{١٦} \text{ رطل} = \text{ثقل الرجل} = ١٥٠ \text{ رطل}$

فحينئذ يكون $\text{حَ} = \frac{٢٤}{١١}$ ، $\text{ح} = \frac{٠٫١}{٠٫٧٦} \times \frac{٢٤}{١١} = \frac{٦٠}{٢٠٩}$ قدم مكعب

المثال الثاني ـ قطعة اسطوانية من الخشب محورها رأسي عائمة في الماء والمطلوب تعيين مقدار انغمارها بوضع ثقل معلوم على سطحها العلوي

لذلك نفرض ان ثَ هو الثقل الذي يوضع على الاسطوانة وحينئذ فتنغمر الاسطوانة للحد الذي فيه يكون ثقل



ثقل الماء المحذوف بزيادة الانغمار مساويا الى ثَ

واذا كان ث هو ثقل الاسطوانة فيكون هو ايضا ثقل الماء المحذوف بالاسطوانة

وعليه فاذا كان هـ هو الانغطاط الاصلى لقاعدة الاسطوانة ، س هو مقدار الانغمار يكون

$$ثَ : ث :: س : هـ$$

ومنه يحدث

$$س = \frac{ثَ}{ثً} هـ$$

فاذا كان مقدار س اكبر من الارتفاع الأصلى للاسطوانة عن سطح الماء فتغمر بتمامها وحصول التوازن يكون متعلقا حينئذ بكثافة ثَ

المثال الثالث ــ صفيحة على شكل مثلث متساوى الساقين قاعدتها افقية عائمة فى الماء والمطلوب تعيين وضع التوازن حينما تكون القاعدة المذكورة اعلى السطح

لذلك نفرض ان كَ ، ك هما كثافتا الصفيحة والماء وأن هـ هو ارتفاع المثلث ، س هو انغطاط الجزء المغمور وحينئذ يكون

$$كَ \times \text{حجم الصفيحة} = ك \times \text{حجم الماء المحذوف}$$

وحيث ان المثلثات المتشابهة متناسبة لمربعات الاضلاع المتناظرة يكون

$$كَ هـ^2 = ك س^2$$ ومنه يحدث

$$س = هـ \sqrt{\frac{كَ}{ك}}$$

وهذا الشرط الأخير محقق فى هذا المثال وفى المثال السابق

المثال الرابع ــ هل يمكن ان تعوم الصفيحة المثلثية المتساوية الساقين شكل ٤٠ فى مائع كثافته ضعف كثافتها بحيث تكون قاعدتها رأسية

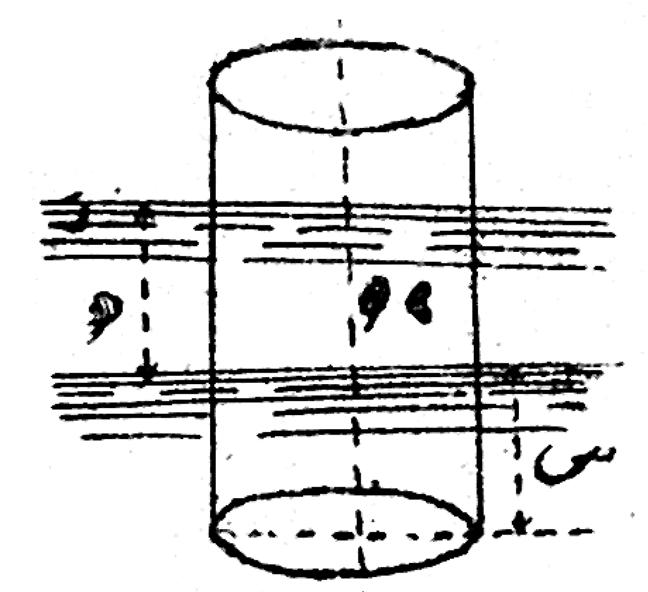
لذلك يقال الشرط الأول أن يكون نصف المثلث مغمورا وعليه فتكون رأسه فى السطح

وايضا اذا كان حـ ، هـ هما مركزا الثقل يكون $اح = \frac{2}{3} اب$ ، $اهـ = \frac{2}{3} اح$ مع ملاحظة ان نقطة ح هى منتصف الخط و ء ويكون

$$احـ : اهـ :: او : اح$$

وعليه فيكون حـ هـ موازيا الى و ح وحينئذ يكون رأسيا وكلا الشرطين محقق

المثال الخامس ــ اسطوانة عائمة محورها رأسى مغمورة جزئيا فى مائعين وكثافتا العلوى والسفلى هما على التناظر ك ، ك، وكثافة الاسطوانة $\frac{3ك}{4}$ والمطلوب تعيين وضع توازن الاسطوانة المذكورة حينما يكون ارتفاعها ضعف عمق المائع العلوى



لذلك نفرض ان س هو الارتفاع المغمور في المائع السفلي وان م مساحة كل من القاعدتين ، ٢ هـ هو الارتفاع الكلي للاسطوانة فحينئذ يكون

$\frac{٣ك}{٤}$ م × ٢ هـ = ك م هـ + ٢ ك م س أو

س = $\frac{١}{٤}$ هـ

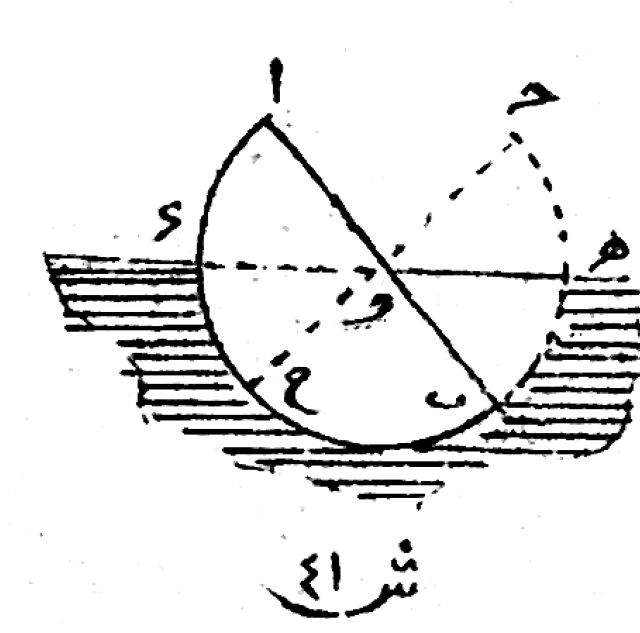
فاذا كانت الاسطوانة مغمورة بحيث ان قاعدتها العليا تكون في سطح المائع فكثافتها كَ تستخرج من المعادلة الآتية

٢ كَ هـ = ك هـ + ٢ ك هـ أو

كَ = $\frac{٣ك}{٢}$

ويكون س مساويا حينئذ الى هـ

المثال السادس ـ صندوق مكعب الشكل حجمه قدم مكعب ملئ ثلاثة ارباعه بالماء وعلق داخله بواسطة خيط كرة من الرصاص حجمها ٧٢ بوصة مكعبة والمطلوب تعيين زيادة الضغط على القاعدة وعلى أحد أوجه المكعب المفروض



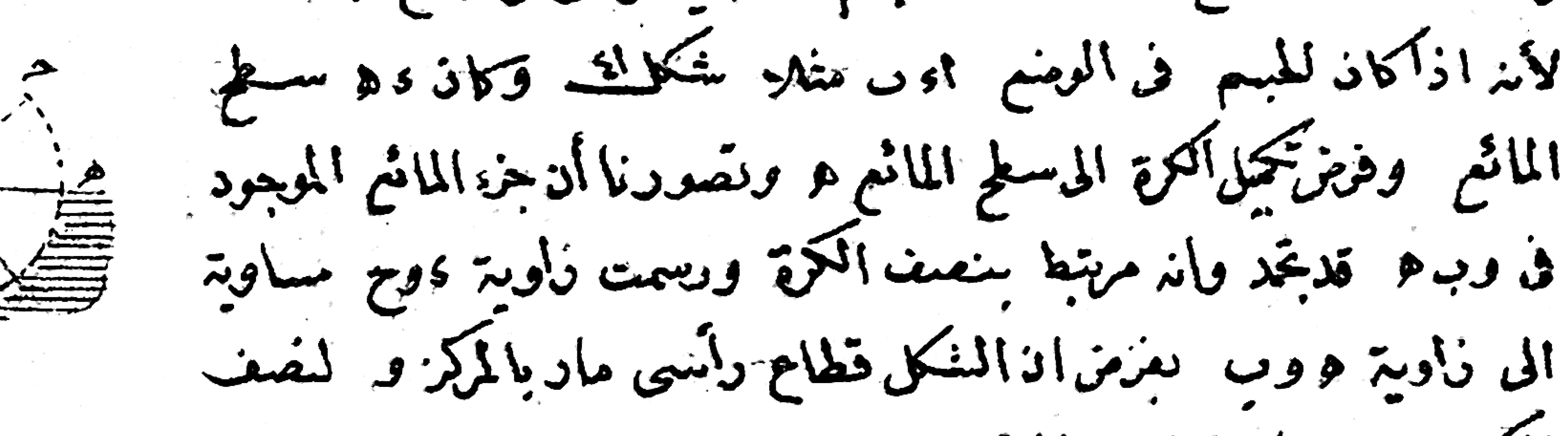
لذلك يقال ان انغمار كرة الرصاص يرفع سطح المائع $\frac{١}{٢}$ بوصة لأن مساحة السطح ١٤٤ بوصة مربعة

والضغط على القاعدة حينئذ يزداد بقدر ثقل ٧٢ بوصة مكعبة من الماء أعني بقدر $\frac{٧٢}{١٧٢٨}$ × ١٠٠٠ أقية أو $\frac{٢}{٣}$ ٤١ أقية ومساحة الوجه الذي كان في الاصل ملامسا للمائع كانت $\frac{٣}{٤}$ قدم مربع والضغط عليه كان ١٠٠٠ × $\frac{٣}{٤}$ × $\frac{٣}{٨}$ أقية أو $\frac{١}{٤}$ ٢٨١ أقية لأن $\frac{٣}{٨}$ قدم هو انغطاط مركز الثقل عن السطح والمساحة الجديدة تكون $\frac{٣}{٤}$ + $\frac{١}{٢٤}$ أو $\frac{١٩}{٢٤}$ قدم مربع

وحينئذ يكون الضغط الجديد = ١٠٠٠ × $\frac{١٩}{٢٤}$ × $\frac{١٩}{٤٨}$ أقية = $\frac{٥٣}{١٤٤}$ ٣١٣ أقية

والزيادة تكون حينئذ ازيد بقليل عن ٣٢ أقية

المثال السابع ـ اذا كان جسم على شكل نصف كرة متحركا حول مركز قاعدته المستوية المثبت في سطح المائع وكانت كثافة المائع ضعف كثافة الجسم فانه يسكن في أي وضع كان



لأنه اذا كان للجسم في الوضع ا ء ب مثلا شكل ٤١ وكان ء هـ سطح المائع وفرض تكميل الكرة الى سطح المائع هـ وتصورنا أن جزء المائع الموجود في و ب هـ قد تجمد وانه مرتبط بنصف الكرة ورسمت زاوية ء و ح مساوية الى زاوية هـ و ب بفرض ان الشكل قطاع رأسي مار بالمركز و لنصف الكرة وعموديا على قاعدتها المستوية

فالضلع الكروي ح و ب يكون متزنا من نفسه ثم بدون معلومية وضع مركز ثقل ضلع كروي يسهل معرفة أن البعد الافقي من نقطة و الى مركز ثقل الضلع الكروي هـ و ب يكون مساويا للبعد الافقي لمركز ثقل الضلع

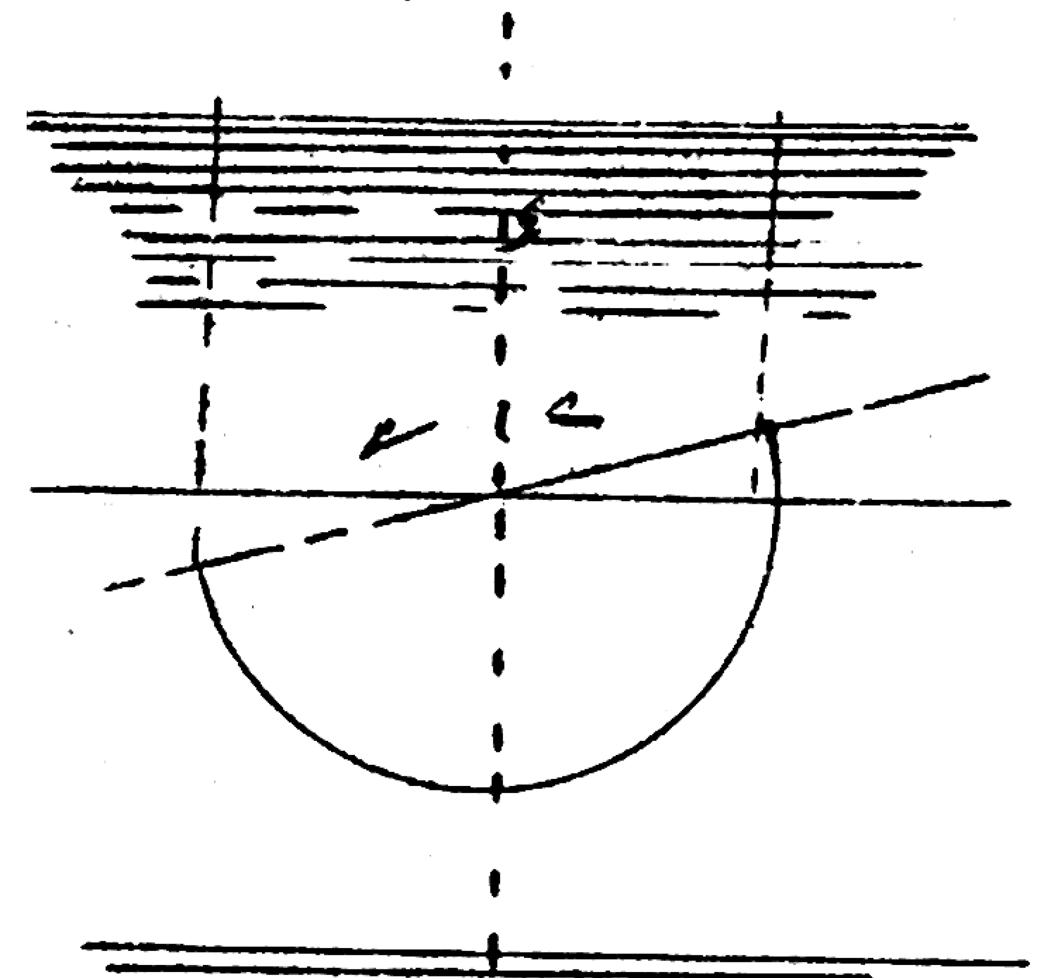
اوح عن نقطة و وعلى ذلك يكون عزم ثقل هـ و ب بالنسبة لنقطة و مساويا لعزم ثقل اوح بالنسبة لنقطة و المذكورة وزيادة على ذلك فأن اتجاهات ضغوط السائل على السطح ء ب م جميعها مارة بنقطة و وحينئذ اذا فرض أن السائل المجمد وب م رجع الى أصله وترك نصف الكرة اح ب وشأنه فيبقى ساكنا

ونتيجة هذا المثال استعملت عمليا فى لامبة الزيت المسماة لامبة (سيبيل) التى فيها سطح الزيت المغذى للفتيلة دائما ثابتا ففى الشكل يكون ء هـ ب عبارة عن انية على شكل نصف كرة محتوية على الزيت ، اء ب يكون عبارة عن نصف كرة ثقلها النوعى نصف الثقل النوعى للزيت فعند احتراق الزيت يتحرك اء ب حول و ، وهو يكون دائما سطح الزيت

المثال الثامن — جسم على شكل نصف كرة غمر بتمامه فى مائع كثافته ك وكان فى وضع بحيث ان مركز قاعدته منحط عن السطح بقدر ء ومستوى قاعدته مائلا أيضا على الرأسى بزاوية ـــ والمطلوب تعيين محصلة الضغوط الافقية والرأسية الواقعة على السطح المحدب للجسم المفروض

لذلك نفرض أن نق هو نصف القطر فتكون محصلة الضغوط الرأسية على السطح الكلى للجسم مساوية الى ثقل المائع المحذوف = $\frac{٢}{٣}$ ط ك ط نق^{٣}

وهذه المحصلة عبارة عن الفرق بين محصلة الضغوط الرأسية على السطح المحدب وبين محصلة الضغوط الرأسية الواقعة على القاعدة المستوية ولكن الضغط على القاعدة المستوية يساوى ح ك ط نق^{٢} ء فى اتجاه مائل على الافق بزاوية قدرها ـــ وعلى ذلك فتكون محصلة الضغوط الرأسية على القاعدة تساوى ح ك ط نق^{٢} ء حا ـــ



وعلى ذلك اذا كانت القاعدة متجهة الى أعلى فتكون محصلة الضغوط الرأسية على السطح المحدب مساوية الى

$$\frac{٢}{٣} \text{ ح ك ط نق}^{٣} + \text{ح ك ط نق}^{٢} \text{ ء حا ـــ}$$

واذا كانت القاعدة متجهة الى أسفل فيكون الضغط الرأسى على السطح المحدب مساويا الى

$$\text{ح ك ط نق}^{٢} \text{ ء حا ـــ} - \frac{٢}{٣} \text{ ح ك ط نق}^{٣}$$

وكذا الضغوط الافقية على السطح المحدب تساوى الضغوط الافقية على القاعدة = ح ك ط نق^{٢} ء حتا ـــ

وعلى ذلك تكون محصلة الضغوط المؤثرة على السطح المحدب مساوية الى

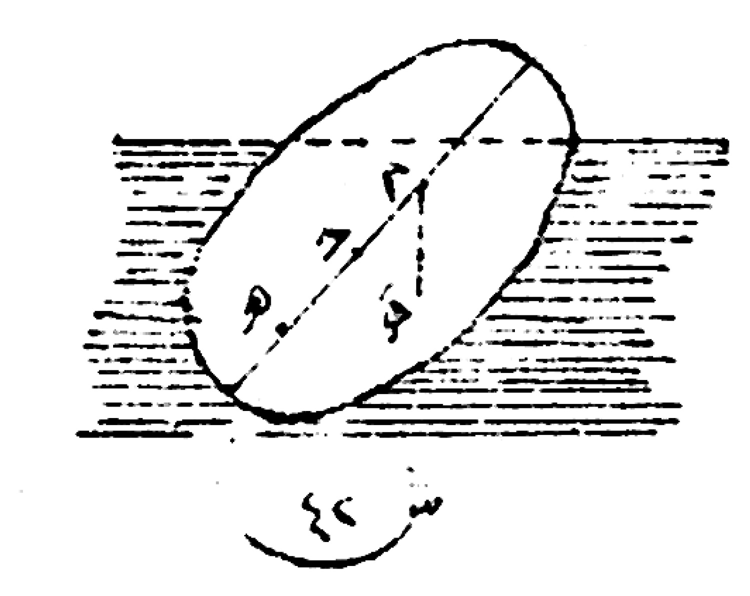
$$\text{ح ك ط نق}^{٢} \sqrt{\text{ء}^{٢} \pm \frac{٤}{٣} \text{ نق ء حا ـــ} + \frac{٤}{٩} \text{ نق}^{٢}}$$

ويرى من ذلك ان الطريقة التى استعملت فى هذا المثال يمكن تطبيقها على ايجاد محصلة الضغوط على سطح اى جسم محدود بمستو مساحته معلومة وحجم الجسم المذكور معلوم أيضا

استدامة التوازن

س ٦٢ اذا تصورنا جسما عائما خرج من وضعه الذى كان متزنا فيه بدوران بحيث ان الخط الواصل بين مركز ثقله وبين مركز ثقل السائل المحذوف يكون مائلا على الخط الرأسى ورجع الجسم عند تركه ونفسه الى وضعه الأصلى فيقال لوضع توازنه الاصلى وضع توازن مستديم وأما اذا لم يرجع له فيقال لذلك الوضع وضع توازن غير مستديم

س ٦٣ مركز التمايل ـ نفرض فى شكل ٤٢ أن ح ، ه هما مركزا ثقل الجسم والسائل المحذوف فى الابتداء ، هَ مركز ثقل السائل المحذوف فى الوضع الجديد وان نقطة م هى نقطة تقابل الرأسى المار بنقطة هَ بالمستقيم ه ح



ش ٤٢

وحيث ان مقاومة السائل تؤثر رأسيا الى أعلى فى اتجاه الخط هَ م فيرى بداهة انه اذا كانت نقطة م اعلى نقطة ح فبتأثير السائل يحدث رجوع الجسم الى وضعه الأصلى ولكن اذا وقعت نقطة م اسفل ح فالتأثير يبعد الجسم المذكور عن وضعه الاصلى

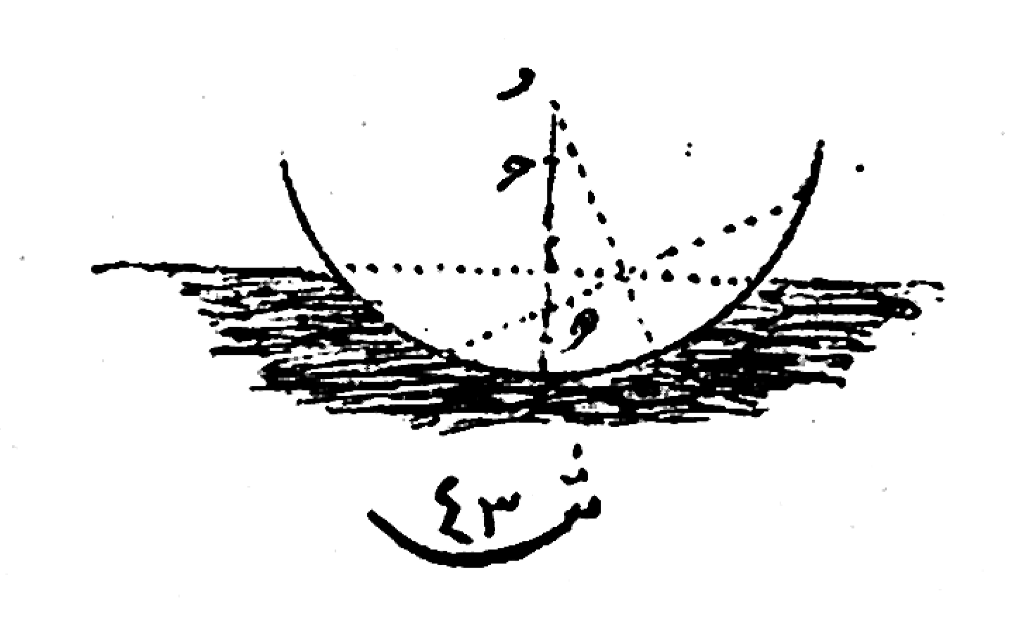
وعلى العموم فوضع النقطة م يتعلق بمقدار تغير وضع الجسم فاذا كان التغير المذكور قليلا جدا أعنى ان الزاوية الواقعة بين ح ه وبين الخط الرأسى صغيرة جدا فالنقطة م تسمى بمركز التمايل وأمر حالة ثبات التوازن يؤدى الى تعيين النقطة المذكورة

س ٦٤ ومن اهم المسائل فى العمارات البحرية ان تكون أوضاع مركز التمايل أعلى مركز الثقل فى جميع الأحوال ويحصل على ذلك بجعل القطاع الرئيس للسفينة على شكل مناسب بحيث أنه يرفع مركز التمايل على قدر الامكان ووضع صابورة كافية لانخفاض مركز ثقل السفينة وكلما كانت المسافة الكائنة بين النقطتين ح ، م المذكورتين كبيرة كلما قل التمايل واتزن سير السفينة

وزيادة على ذلك فانه يجب على مهندس الانشاآت البحرية ان يتبصر فى احتمال زيادة تغير وضع السفينة الذى ربما ينشأ من تماوج السفينة وليس فى الحركة الصغيرة التى يعتبرها فى تعيين مركز التمايل فقط

س ٦٥ ويمكن ايجاد مركز التمايل فى بعض أحوال مخصوصة بطرق بسيطة وأما فى الحالة العمومية فيلزم لتعيينه استعمال حساب التكامل

ففى الحالة الآتية يكون وضع مركز التمايل ظاهرا لأنه اذا فرض أن الجزء السفلى من الجسم على شكل قطعة كروية كما فى شكل ٤٣ فحيث ان شكل الجزء المغمور كروى فيكون اتجاه ضغط الماء على كل نقطة من سطحه مارا بمركز الكرة وحينئذ فمحصلة الضغوط تؤثر فى اتجاه الخط الرأسى المار بمركز الكرة و وحيث ان مركز ثقل المائع المحذوف موجود فى الوضع الابتدائى على الخط الرأسى المار بنقطة و فمركز ثقل الجسم يكون موجودا أعلى



ش ٤٣

الخط

الخط الرأسي المار بنقطة و أيضا وعلى ذلك فنقطة و تكون هي مركز التمايل

وبناء عليه فأن اى جسم على شكل قطعة كروية يعوم بتوازن مستديم بانغمار جزء من سطحه المحدب فى الماء

س ٦٦ الأجسام العائمة فى الهواء - حيث ان الهواء ثقيل يمكن ان نطبق على الأجسام العائمة فيه كليا أو جزئيا قوانين التوازن التى تقررت للأجسام العائمة فى الموائع

ففى احدى الحالتين مثلا اذا كان جسم أخف من الماء عائما على سطحه فأنه يحذف من كل من الماء والهواء كمية معلومة واذا نقل هذا الجسم من موضعه وفرض أن مكانه قد ملئ بالهواء والماء فمن الواضح ان ثقل الهواء والماء المحذوفين يكون محمولا بمحصلة الضغوط الرأسية للهواء والماء المحيطين به

وعلى ذلك يكون ثقل الجسم مساويا لثقل الهواء والماء المحذوفين وان مركز ثقل الهواء والماء المحذوفين يلزم أن يكون على الخط الرأسى المار بمركز ثقل الجسم المفروض

وبمثل ذلك اذا كان الجسم عائما فى الهواء فقط فأنه يكون ثقله مساويا لثقل الهواء المحذوف

س ٦٧ القبة الطيارة - صعود القبة الطيارة فى الهواء مؤسس على قاعدة البند المتقدم وأن القبة الطيارة هى عبارة عن غلاف كبير من الحرير أو من مادة متينة خفيفة يملأ بغاز كثافته أقل من كثافة الهواء وقد يملأ عادة بغاز الاستصباح ويربط به زورق لجلوس الصاعدين به وحيث ان ثقل الهواء المحذوف يكون أعظم من الثقل الكلى للقبة والزورق معا فالقبة ترتفع وتستمر فى الارتقاء الى الحد الذى فيه تكون كثافة الهواء المحيط بها غير كافية لحمل ثقلها

ولأجل اهباط القبة المذكورة يفتح صمام بها لأخراج جزء من الغاز والقوة التى تصعد الطيارة تساوى ثقل الهواء المحذوف ناقصا منه ثقل القبة الطيارة المذكورة

اختبار فى الباب الرابع

(١) وضح كيفية ايجاد محصلة الضغوط الرأسية لمائع على سطح ما حينما يؤثر من أسفل الى أعلا وحينما يؤثر من أعلى الى أسفل

(٢) طبق ما سبق على ايجاد محصلة الضغوط الواقعة على جسم مصمت مغمور بتمامه

(٣) اذا كان مخروط مصمت معدنى مغمورا بتمامه فى مائع ومحمولا بخيط فما مقدار شدة الخيط المذكور

(٤) ماهى شروط جسم عائم

(٥) اذا كان لوح من الخشب عائما فى الماء ووضع ثقل معلوم على احدى نهايتيه فما مقدار الثقل الذى اذا وضع على بعد معلوم من النهاية الثانية يجعل اللوح المذكور فى الوضع الافقى

(٦) وضح طريقة خلع للغواصين فى المياه العميقة

(٧) اسطوانة عائمة رأسيا فى سائل وثمانية اقدام من طولها أعلى السائل المذكور والمطلوب تعيين الطول الكلى للاسطوانة المذكورة بفرض أن الثقل النوعى للسائل المفروض ثلاثة امثال الثقل النوعى للأسطوانة المذكورة

(٨) جسم عائم بحيث ان $\frac{1}{3}$ حجمه مغمور فى سائل و $\frac{1}{4}$ حجمه مغمور فى سائل آخر والمطلوب مقارنة الثقلين

النوعيين للسائلين المذكورين ببعضهما بعضا

(٩) اسطوانة من الخشب طولها ثلاثة اقدام محورها رأسي عائمة في سائل ثقله النوعي ضعف ثقلها النوعي والمطلوب مقارنة القوى اللازمة لرفعها ٦ بوصات وخفضها ٦ بوصات ببعضها بعضا

(١٠) ثلاث قضبان متساوية الطول مرتبط بعضها ببعض مكونة لمثلث متساوى الاضلاع عائمة في مائع كثافته ضعف كثافة القضبان المذكورة وكان احد القضبان افقيا وأعلى سطح المائع والمطلوب ايجاد وضع التوازن

(١١) وضح استدامة التوازن وعرف مركز التمايل

(١٢) أدخل في كرة من خشب مسمار صغير من الحديد فكان ثقل الكرة المذكورة مساويا لنصف ثقل حجمها من الماء والمطلوب ايجاد أوضاع التوازن في الماء والبحث في استدامة التوازن

(١٣) قطعة من الخشب حجمها اربعة اقدام مكعبة عائمة بحيث ان نصفها مغمور في الماء والمطلوب تعيين حجم قطعة من المعدن الذى ثقله النوعي سبعة امثال الثقل النوعي للخشب بحيث انها اذا ارتبطت بالجزء السفلى لقطعة الخشب المذكورة تجعلها على وشك الغرق

(١٤) قطعة اسطوانية من الخشب محورها رأسي وضعت في اناء اسطواني قاعدته مستوية وصب فيه ماء الى ارتفاع ضعف ارتفاع القطعة الاسطوانية المفروضة والمطلوب ايجاد مقدار ضغط القطعة المذكورة على قاعدة الاناء المفروض

(١٥) اناءان اسطوانيان محتويان على سائلين مختلفين موضوعان بالقرب من بعضهما على مستو افقي ومتصلان بانبوبة رفيعة ملامسة للمستوى الافقي المذكور والمطلوب معرفة اى السائلين يمر من انائه الأصلي الى داخل الاناء الآخر عند حصول الاستطراق وكذا معرفة الشرط الذى به لايختل التوازن

(١٦) جسمان معلوم حجمها وثقلها النوعي متصلان معا بخيط مار على بكرة وساكنان مع انغمارهما بالكلية في الماء والمطلوب معرفة شرط التوازن

ملحوظة على الباب الرابع

قاعدة ارشميدس ـ ان وضع وبرهان القضية المقررة في (٦٣) منسوب الى ارشميدس ومما يستغرب عليه في التاريخ العلمي أنه لم يحصل ادنى تقدم في علم الايدروستاتيك مدة ١٨٠٠ سنة الى أن اتى زمن ستيفينوس وغليلي وترو شللي حيث أن تأثير السوائل الذى شرحه ارشميدس بالصفة السابقة بقي على ما هو عليه في هذه المدة بدون فائدة ولاثمرة ومما يحكى عن ارشميدس ويثبت دقة تصوراته ان هيرو ملك سيراكوس عمل له تاج من مقدار معين من الذهب وظن ان الصانع أخذ جزأ من الذهب وعوضه بكمية أخرى معدنية ثقلها مساو لثقل ما اخذه من الذهب المذكور فانتدب ارشميدس وكلفه بحل هذا الاشكال فارشميدس عندما كان يتفكر في حل هذه المسألة مذ كان في الحمام لاحظ ان الماء يندفق من حافات الحوض الذى كان فيه فطرأ عليه أنه جار حذف كمية من الماء مساوية لحجمه المغمور فيه وأن كمية من الذهب النقي مساوية لثقل التاج يلزم ان تحذف كمية من الماء حجمها أقل من حجم التاج لان حجم ثقل اى معدن ممزوج اكبر من حجم ثقل مساو له من الذهب النقي ويقال انه خرج في الحال الى الطريق صارخا بقوله عرفتها عرفتها

وكاتبا

وكتابا ارشميدس اللذان وصلا الينا وجدهما نيكولاس ترتاجليا ضمن كتاب لاتينى خط يد قديم ونشرهما فى سنة ١٧٣٥
ففى الكتاب الأول من الكتابين المذكورين ذكر على أن سطح الماء الساكن يلزم ان يكون كرويا ومركزه فى مركز الأرض
ووجدت فيه جملة مسائل مختلفة متعلقة بتوازن اجزاء الاجسام الكروية محلولة
والكتاب الثانى يحتوى على قضية (سند) وعلى حلول عدد كثير من المسائل المختصة بتوازن مجسمات القطاعات المكافئة التى
بعضها داخل فيه ورسومات اشكال هندسية منتشبة
وقد صار المحقق من هذين الكتابين بذكر استرابو لهما الذى لم يذكر اسمهما فقط بل ان شرح القضية الثانية من الكتاب الأول
سيفينوس وغليلي — رسائل استيفينوس فى الاستاتيكا والايدروستاتيكا فى سنة ١٥٨٥ تبعت رسائل ارشميدس
فى الافكار وبين فيها كيفية تعيين ضغط اى مائع على قاعدة وجوانب الاناء الشامل له
غليلي — فى رسالة على الاجسام العائمة التى نشرت فى سنة ١٦١٢ ذكر التناقض لايدروستاتيكى ووضح عدم تعلق
عوم الأجسام بشكلها

امثلة

(١) جسم منتظم مصمت عائم بأطلاق فى سائل ثقله النوعى ضعف الثقل النوعى للجسم المذكور والمطلوب البرهان على ان ذلك الجسم يعوم متزنا اذا عكس وضعه

(٢) قطعة من الثلج حجمها ياردة مكعبة عائمة بحيث ان $\frac{١}{١٠}$ من حجمها أعلى السطح ولوحظ أن قطعة صغيرة من الجرانيت مخبأة فى الثلج والمطلوب تعيين حجم قطعة الجرانيت المذكورة من بعد معلومية ان الثقلين النوعيين للثلج والجرانيت على التناظر هما ٩١٨ر٠ ، ٦٥ر٢

(٣) صفيحة مثلثية متساوية الساقين عائمة بحيث ان قاعدتها افقية ومحطة عن سطح المائع الذى كثافته ضعف كثافتها والمطلوب تعيين وضع التوازن

(٤) مخروط مصمت محوره رأسى عائم فى مائع كثافته ضعف كثافة المخروط المذكور والمطلوب المقارنة بين مقدارى جزئى المحور اللذين يكونان مغمورين حينما تكون الرأس اعلى وحينما تكون أسفل

(٥) اذا كان ثَ ، ثً ، ثٌ هى اثقال الجسم فى ثلاثة موائع مختلفة اثقالها النوعية هى ثٍ ، ثِ ، ثُ فما هو البرهان على أن ثَ (ثُ - ثِ) + ثً (ثٍ - ثُ) + ثٌ (ثِ - ثٍ) = ٠

(٦) صفيحة مثلثية متساوية الاضلاع معلقة بالحرية من نقطة ا وساكنة بحيث ان الضلع اب رأسى والضلع اح منصفا بسطح سائل ثقيل والمطلوب البرهان على أن نسبة كثافة الصفيحة المذكورة الى كثافة السائل كنسبة ١٥ الى ١٦

(٧) اسطوانة رأسية كثافتها $\frac{٧ك}{٤}$ عائمة فى مائعين كثافة العلوى ك وكثافة السفلى ٢ك فاذا كان طول الاسطوانة ضعف عمق المائع العلوى فما يكون وضع السكون

(٨) قضيب من الخشب فى احد طرفيه قطعة من رصاص والمطلوب تعيين كثافة المائع الذى يعوم فيه القضيب المذكور مهما كان ميله على الرأسى بفرض ان ثقل قطعة الرصاص نصف ثقل القضيب المذكور مع صرف النظر عن حجم

القطعة المذكورة

(٩) اذا كان ثقل الجزء الغير مغمور في جسم عائم في الماء معلوما فما مقدار الثقل النوعي للجسم المذكور بحيث يكون حجمه أصغر ما يمكن

(١٠) كوبة اسطوانية من الزجاج ثقلها ٨ أقيات ونصف قطرها الخارج ٥٥ر١ بوصة وارتفاعها ٥ر٤ بوصة عامت في المائع مع كون محورها رأسي والمطلوب معرفة الثقل الذي يلزم وضعه فيها ويكون كافيا لاغراقها

(١١) اناء على شكل نصف الاسطوانة المتقدم طرفاه مغلوقان عائم في الماء بحيث ان قاعدتيه رأسيتان والمطلوب تعيين الثقل الاضافي الذي اذا وضع على منتصفه يحدث تمام انغمار الاناء المذكور

(١٢) قضيب منتظم ثقله ث عائم في ماء ومائل على الرأسي وبه نقطة مادية ثقلها ث مرتبطة بنهايته السفلى والمطلوب البرهان على أنه اذا كانت كثافة الماء اربعة امثال كثافة القضيب فينغمر نصف طول القضيب المذكور

(١٣) قضيب منتظم عائم بحيث ان جزأ منه مغمور في الماء ومحمول من احدى نهايتيه بخيط والمطلوب البرهان على انه اذا كان الطول المغمور غير متغير فشدة الخيط تكون غير متعلقة بميل القضيب على الرأسي

(١٤) كرة مجوفة نصفا قطرها الداخل والخارج معلومان عائمة بحيث ان نصفها مغمور في الماء والمطلوب تعيين كثافتها بمقارنتها بكثافة الماء

(١٥) مخروط قائم مجوف ثقيل مسدود بقاعدة بدون ثقل ومغمور بتمامه في سائل والمطلوب تعيين القوة التي تحمله بحيث ان يكون محوره أفقيا

(١٦) المطلوب ايجاد وضع توازن جسم مخروطي مصمت محوره رأسي ورأسه أعلى عائم في سائل نسبة كثافته الى كثافة المخروط المذكور كنسبة ٢٧ الى ١٩

(١٧) صفيحة مستطيلية ا ب حـ ء مرتبط في نقطة ب منها ثقل عائم في الماء بحيث ان مستويها رأسي والقطر ا حـ في السطح والمطلوب البرهان على ان الثقل النوعي للسائل يكون ثلاثة امثال الثقل النوعي للصفيحة المذكورة

(١٨) مجسم قطع مكافئ مصمت عائم في مائع بحيث ان محوره رأسي ورأسه أسفل وان كثافتي الجسم المذكور والمائع معلومتان والمطلوب تعيين مقدار انحطاط رأسه عن سطح المائع

(١٩) سفينة بانتقالها من البحر الى النهر زاد انغمارها بوصتين وبعد تفريغ ٤٠ طونيلاتة من شحنتها ارتفعت بوصة ونصف والمطلوب معرفة ثقل المركب والشحنة معا من بعد معلومية ان الثقل النوعي لماء البحر ٠٢٥ر١ وان القطاع الافقي للسفينة الذي كان أعلى سطح البحر بوصتين غير متغير

(٢٠) اناء اسطواني نصف قطر قاعدته نق وارتفاعه هـ مملوء ثلاثة ارباعه بالماء والمطلوب تعيين اكبر اسطوانة نصف قطر قاعدتها نق َ وثقلها النوعي ٥ر٠ التي يمكن وضعها في الماء المذكور بدون ان يند فق بحيث يكون محورا الاسطوانتين المذكورتين رأسيين ونق َ أصغر من نق

(٢١) اسطوانة مجوفة مملوءة ملأ تاما بالماء مغلقة وجعلت في وضع بحيث يكون محورها افقيا والمطلوب تعيين اتجاه ومقدار محصلة الضغوط على النصف السفلي للسطح المحدب وكذا اذا كانت الاسطوانة المذكورة في وضع بحيث

بحيث يكون محورها رأسيا فما اتجاه ومقدار محصلة الضغوط على نفس السطح المذكور

(٢٢) جسم اسطوانى احدى نهايتيه على شكل نصف كرة عائم بحيث ان السطح الكروى مغمور جزئيا والمطلوب ايجاد مقدار اعظم ارتفاع للأسطوانة المذكورة الذى يكون به استدامة التوازن

(٢٣) جسم عائم فى سائل غير مرن شوهد أنه يأخذ احجاما ح١ ، ح٢ ، ح٣ على التناظر أعلى السطح فى الاوقات التى تكون فيها كثافة الهواء المحيط هى ي١ ، ي٢ ، ي٣ والمطلوب البرهان على أن

$$\frac{ي_2 - ي_3}{ح_1} + \frac{ي_3 - ي_1}{ح_2} + \frac{ي_1 - ي_2}{ح_3} = ٠$$

(٢٤) جسم على شكل مخروط ناقص قائم حادث من قطع المخروط الكامل بمستو عمودى على المحور منصفا له عائم بحيث ان قاعدته الصغرى فى السائل ونصف محوره مغمور فى الماء والمطلوب المقارنة بين كثافتى المخروط المذكور والسائل

(٢٥) جسم مخروطى وجسم على شكل نصف كرة قاعدتاهما متساويتان لصقا معا بقاعدتيهما والجسم الناتج عائم فى الماء بحيث ان السطح الكروى مغمور جزئيا والمطلوب تعيين ارتفاع المخروط الذى به يكون التوازن ملازما

(٢٦) ثلاثة قضبان مرتبط بعضها ببعض ومكونة لثلاثة اضلاع من مربع وان طرف احد الضلعين المتطرفين مرتبط بمفصل موجود فى سطح السائل والجملة فى مستو رأسى وأن نصف الضلع المقابل موجود خارج السائل والمطلوب البرهان على أن نسبة الثقل النوعى للقضبان الى الثقل النوعى للسائل كنسبة ٣١ : ٤٠

(٢٧) مثلث ا ب ح عائم فى سائل ومستويه رأسى والرأس ب فى سطح السائل والرأس ا غير مغمورة والمطلوب البرهان على أن نسبة كثافة السائل الى كثافة المثلث المذكور كنسبة ح ا ب الى ح ا ا جـ ا حـ

(٢٨) جسم مخروطى مصمت محوره رأسى ورأسه أسفل عائم فى سائل غير مرن والمطلوب البرهان على أنه مهما كانت كثافة السائل بفرض أنها أكبر من كثافة الجسم فأن الضغط الكلى على السطح المحدب يكون واحدا

(٢٩) سائلان متزنان واحدهما موضوع فوق الآخر والسائل السفلى ثقله النوعى أكبر من الثقل النوعى للسائل العلوى ومغمورة فيهما اسطوانة مصمتة بحيث أن محورها رأسى وثقلها النوعى أكبر من الثقل النوعى للسائل العلوى والمطلوب ايجاد وضع التوازن

وما يكون التأثير حينما تزداد كثافة السائل الأعلى

وهل اذا حادت الاسطوانة عن الوضع الرأسى يكون التوازن ثابتا أم غير ثابت

(٣٠) قضيبان منتظمان متساويان ا ب ، ب حـ مرتبطان ارتباطا مفصليا فى نقطة ب ويمكنهما التحرك حول نقطة ا الثابتة على عمق معلوم أسفل سطح سائل ثقيل والمطلوب تعيين الوضع الذى فيه كل من القضيبين يبقى ساكنا ومغمورا جزئيا وايضاح انه لاجل ان يكون هذا الوضع ممكنا يلزم ان تكون نسبة كثافة القضيبين الى كثافة السائل المذكور أصغر من $\frac{٥}{٩}$

(٣١) مثلث متساوى الاضلاع ا ب حـ ثقله ث وثقله النوعى ث يتحرك حول مفصل فى ا يكون فى حالة توازن حينما تكون الزاوية حـ مغمورة فى الماء والضلع ا ب افقيا فصار دورانه فى مستويه الى أن

صار الضلع ب ح افقيا ومغمورا بتمامه فى الماء والمطلوب البرهان على أن الضغط على المفصل فى هذا الوضع يكون مساويا الى ٢ $\frac{1-\sqrt{ب}}{\sqrt{ب}}$ ث

(٣٢) نصف كرة مصمتة مغمورة بتمامها ومركز قاعدتها موجود على عمق معلوم وكان ث ثقل السائل الذى تحذفه ، ه محصلة الضغوط الرأسية ، ك محصلة الضغوط الافقية على سطحها المحدب والمطلوب البرهان على أنه فى جميع أوضاع الجسم يكون (ث ـ ه)^2 + ك^2 ثابتا

(٣٣) مخروط مجوف مملوء بالماء مغلوق وموضوع فى وضع بحيث ان محوره افقى والمطلوب تعيين محصلة الضغوط الرأسية على النصف العلوى للسطح المحدب

(٣٤) اسطوانة مصمتة مغمورة بتمامها فى الماء ومركز ثقلها موجود على عمق معلوم اسفل السطح ومحورها مائل على الرأسى بزاوية معلومة والمطلوب تعيين محصلة الضغوط الافقية ومحصلة الضغوط الرأسية على السطح المحدب ثم اتجاه ومقدار محصلة الضغوط الافقية والرأسية على السطح المذكور

(٣٥) زاوية رأس مخروط مصمت قدرها ٦٠° والمطلوب البرهان على ان هذا المخروط يعوم فى مائع بحيث أن رأسه أعلا السطح وقاعدته مماسة للسطح المذكور اذا كانت كثافتا المخروط والمائع جنسية ٢٧-١ الى ٢٧

الباب الخامس

فى الهواء والغازات

مرونة الهواء ـ تأثير الحرارة ـ الترمومترات ـ تجارب تروشللى ـ ثقل الهواء ـ البارومتر وتقسيمه ـ الارتباطات الواقعة بين الضغط والكثافة ودرجة الحرارة ـ تعيين الارتفاع بالبارومتر ـ الممص ـ تقسيم الترمومتر (اى تدريجه) ـ الترمومتر العرقى

~٦٨ـ يقاس ضغط اى سائل مرن بالطريقة التى يقاس بها ضغط المائع وقد ذكر فيما تقدم أن خاصية تساوى الضغوط فى جميع الاتجاهات وانتقال الضغط بالتساوى تنطبق بالتمام على الموائع والغازات

ومع ذلك فيوجد اختلاف بين الغاز والمائع وهو أن ضغط المائع يتعلق كلية بثقله أو بتأثير ضغط خارجى وأما ضغط الغاز فولو أن للتثاقل دخل فيه لكن يتعلق على العموم بحجمه وبدرجة حرارته

وفعل طلمبة الحقن المعتادة يشاهد منها جليا قوة مرونة الهواء الجوى لأنه اذا سحب مكبس الطلمبة المذكورة وسد طرفها المفتوح يرى انه يحتاج الى قوة عظيمة لرجوع المكبس المسافة صغيرة من رجته واذا كانت الطلمبة المذكورة غير منفذة للهواء ومقاومتها كافية فأنه يحتاج الى قوة عظيمة جدا لتحريك المكبس المذكور للقرب من نهاية رجته وزيادة على ذلك فأن هذه التجربة بالطلمبة السالفة الذكر توضح ان الضغط يزداد تبعا للأنضغاط وان الهواء الموجود داخل الطلمبة المذكورة مستعمل كوسادة مرنة واذا ترك المكبس ونفسه بعد ذلك يرتد ثانيا بسبب تمدد الهواء ورجوعه لحجمه الأصلى

ويمكن الحصول على ايضاح بسيط آخر وذلك ان تغمر اسطوانة من زجاج عكسيا فى الماء مع الاعتناء بحيث تكون رأسية كما فى المثال الثانى من (~٩٤) حتى لا يفقد مقدار كثير من الهواء فيظهر ان سطح الماء داخل الاناء ينحط عن

عن سطح الماء الخارج ومن المعلوم ان ضغط الهواء داخل الاناء يساوى ضغط الماء على السطح المشترك بينهما وهذا الضغط يساوى بناء على ما تقدم الضغط الواقع على السطح الخارج مضافا اليه الضغط المنسوب لانحطاط السطح الداخل عن الخارج وعلى ذلك يرى ان الهواء الداخل الذى نقص حجمه ازداد ضغطه

س ٦٩ تأثير الحرارة ـ قد شوهد أنه اذا ازدادت درجة الحرارة فقوة مرونة كمية من الهواء أو الغاز التى لم يتغير حجمها تزداد أيضا وأنه اذا امكن تمدد الهواء مع بقاء ضغطه على ما هو عليه فيزداد حجمه

ولايضاح ذلك نتصور مكبسا محكما فى اسطوانة رأسية محتوية على هواء ونفرض انه متزن أى ان ثقل المكبس يكون محمولا بالهواء الموجود اسفله

فبارتفاع درجة حرارة الهواء الموجود فى الاسطوانة يصعد المكبس الى أعلى والا فالقوة التى تلزم لحفظه فى موضعه الأصلى تزداد بازدياد درجة الحرارة

س ٧٠ الترمومتر ـ فى الغالب تتمدد الأجسام بالحرارة وتنكمش بالبرودة والطريقة الوحيدة لقياس درجة الحرارة هى مشاهدة مقدار تمدد او انكماش مادة معلومة

فيستعمل الزيبق لقياس درجة الحرارة المعتادة وأما درجات الحرارة العالية جدا فتستعمل لقياسها المعادن وأما درجات الحرارة المنخفضة جدا التى فيها يجمد الزيبق فيستعمل لتعيينها الكؤل

س ٧١ الترمومتر الزيبقى شكل ٤٤ يتكون من انبوبة رفيعة من الزجاج منتهية من اسفل بمستودع وطرفها العلوى مسدود سدا جيدا والمستودع مملوء بالزيبق وجزء صغير من الانبوبة كذلك والمسافة التى بين الزيبق وقمة الانبوبة فهى فراغ

ويلزم الملاحظة انه حيث ان الزجاج يتمدد بازدياد درجة الحرارة كالزيبق فيكون التمدد المشاهد هو الفرق بين التمدد الأصلى وتمدد الزجاج

ففى الترمومتر المئينى نعلم نقطة تجمد الماء بصفر درجة ونقطة غليانه بمائة درجة والمسافة التى بينهما تقسم الى مائة جزء متساوية تسمى درجات

شكل ٤٤

وفى ترمومتر فارنهيت نعلم نقطة تجمد الماء بالعدد ٣٢° ونقطة غليانه بالعدد ٢١٢° وفى ترمومتر رومور نعلم نقطة تجمد الماء بصفر درجة ونقطة غليانه بالعدد ٨٠°

س ٧٢ المقارنة بين درجات تلك الترمومترات ببعضها

فنفرض أن م ، ف ، ر هى عدد الدرج المقابل لدرجة حرارة واحدة فى كل من الترمومترات السابقة على التناظر وحيث أن المسافة بين درجات غليان الماء ودرجة تجمده يلزم ان تكون منقسمة فى جميع الترمومترات بنسبة واحدة بعلامة أى درجة حرارة معلومة فيكون

م : ف − ٣٢ : ر :: ١٠٠ : ١٨٠ : ٨٠ :: ٥ : ٩ : ٤ أو

$$\frac{م}{٥} = \frac{ف - ٣٢}{٩} = \frac{ر}{٤}$$

وهذا بفرض صحة ان درجة الحرارة المعينة للغليان واحدة فى جميعها

وطريقة ملئ الترمومتر وتعريف درجتي التجمد والغليان سيذكر في آخر هذا الباب

٧٣ ضغط الجو — تجربة تروشللي

قد تحقق تأثير ضغط الجو بتجربة تروشللي وهي أنه قد أخذ انبوبة من زجاج اب شكل ٤٥ طولها ٣٢ بوصه وكسور
مفتوحة من الطرف ا ومغلقة من الطرف ب وملأها بالزيبق وسد الطرف
ا بالأصبع وقلب الانبوبة وغمر الطرف المذكور في كوبة بها زيبق ثم فتحه ثانيا
فشاهد ان الزيبق انخفض الى حد معين وحدث فراغ في الجزء العلوي للانبوبة
وبقي سطح الزيبق ثابتا على ارتفاع ٢٩ أو ٣٠ بوصة أعلى سطحه في الكوبة
وحينئذ فقد ظهر ان ضغط الجو مؤثر على سطح الزيبق في الكوبة ومنتقل كما
سبق الايضاح على ان مثل هذه الضغوط يمكن انتقالها بان رفع عمود الزيبق شكل ٤٥
في الانبوبة وعلمت لنا طريقة تقدير مقدار ضغط الجو مباشرة
وفي الواقع فان ثقل عمود الزيبق الذي في الانبوبة أعلى السطح في الكوبة مساو
بالضبط لضغط الجو على مساحة مساوية لقطاع الانبوبة المذكورة وهو عبارة عن ١٥ رطلا تقريبا على كل بوصة مربعة

٧٤ الهواء له ثقل — يمكن اثبات ذلك بوزن دورق مملوء بالهواء ثم وزنه بعد تفريغ الهواء منه فالفرق
بين الوزنين يكون هو ثقل الهواء الذي كان موجودا في الدورق المذكور
ويمكن الآن ايضاح وجود ضغط الجو وذلك لأن الأرض محاطة بكمية من الهواء مرتفعة لارتفاع معلوم كما
يستدل على ذلك بواسطة علم الديناميك واعتبارات أخر وحينئذ اذا اعتبرت طبقة افقية ما وفرض على جزء
منها عمود اسطواني ممتد الى نهاية ارتفاع الجو فثقل العمود المذكور يكون محمولا تماما على ذلك الجزء المستقر
عليه ويكون الضغط على هذا الجزء حينئذ مساويا لثقل عمود الهواء المذكور
وبناء على هذا فيلزم ان ينقص ضغط الهواء كلما ارتفع عن سطح الأرض ومن التجارب التي عملت بواسطة القباب الطيارة
والصعود على الجبال ثبت صحة ذلك
وحينئذ اذا فرض كما تقدم ان ض هو الضغط في اي محل معلوم ، ك هي كثافة الهواء فالضغط على ارتفاع ر يكون

ض ـ ك ر

بفرض ان كثافة الهواء ثابتة تقريبا في جميع الارتفاع ر

٧٥ قد ذكر فيما تقدم ان ضغط الغاز يتعلق غالبا بحجمه وبدرجة حرارته ولكن ذلك على فرض أن الغاز
يكون محصورا في حجم معين والا فتأثير مرونته يحدث انتشار غير محدود للغاز وينتهي بتشتته
وحيث ان تأثير الجذب يعادل قوة انضغاط الغاز فيظهر من ذلك ان ضغط الغاز منسوب لثقله كما في المائع

٧٦ ويمكن ان نوضح بالكيفية التي ذكرت على الهواء أن اي غاز له ثقل وان ثقله يختلف باختلاف الغاز
فمثلا غاز حمض الكربونيك اثقل من الهواء وذلك واضح من امكان صبه كمائع من انية الى
أخرى

البارومتر

٧٧ هذه الآلة المستعملة لقياس ضغط الجو تتركب من انبوبة منحنية ا ب د شكل ٤٦ مغلقة الطرف ا ومفتوحة الطرف د

وارتفاع الجزء ا ب يكون عادة نحو ٣٢ أو ٣٣ بوصة وقطر الجزء ب د يكون عادة اكبر من قطر ا ب بكثير والانبوبة المذكورة محتوية على كمية من الزئبق والجزء ا هـ الذى فوق الزئبق فهو فراغ

ش ٤٦

واذا كان امتداد مستوى سطح الجزء ب د يقطع ا ب فى ن فمن الواضح ان الضغط على ن يكون مساويا لضغط الجو المنتقل من السطح د الى ن لأن الضغط على جميع نقط مستو افقى واحد وحينئذ فالضغط الجوى يحمل عمود الزئبق هـ ن وعليه يكون ارتفاع هذا العمود قياسا لضغط الجو فاذا كانت ك كثافة الزئبق ، ض ضغط الجو يكون

$$\text{ض} = \text{ح ك} \times \text{هـ ن}$$

وحيث ان كثافة الزئبق تنقص بازدياد درجة الحرارة وقد علم من التجربة انه بازدياد درجة الحرارة درجة واحدة مئينية يتمدد الزئبق بمقدار $\frac{1}{5550}$ أو ٠٫٠٠٠١٨٠١٨ من حجمه فحينئذ اذا كانت ك كثافة الزئبق فى درجة حرارة ءْ ، ك_0 كثافته فى درجة الصفر يكون

$$\text{ك}_0 = \text{ك} \, (1 + 0.00018018 \, \text{ء})$$

أو بفرض أن هـ = ٠٫٠٠٠١٨٠١٨ يكون

$$\text{ك}_0 = \text{ك} \, (1 + \text{ء هـ}) \quad (*)$$

وحينئذ يكون

$$\text{ض} = \text{ح ك} \times \text{هـ ن} = \text{ح ك}_0 \, (1 - \text{ء هـ}) \, \text{هـ ن}$$

٧٨ قد وجد ان الارتفاع المتوسط لعمود البارومتر على سطح البحر يختلف بحسب عرض المحل ولكن ينحصر على العموم بين ٢٩٫٥ ، ٣٠ بوصة ومع ذلك فهذا الارتفاع عرضة لتغيرات كثيرة فى مدة اليوم الواحد يتغير

(*) ك_0 رمز للكثافة فى درجة الصفر ، ح_0 الحجم ، ك رمز للكثافة فى درجة ء من الحرارة ، ح الحجم

$$\text{ح} = \text{ح}_0 + \text{ء هـ ح}_0 = \text{ح}_0 \, (1 + \text{ء هـ})$$

$$\text{ح}_0 = \text{ح} - \text{ء هـ ح} = \text{ح} \, (1 - \text{ء هـ})$$ من الأولى يحدث

$$\frac{\text{ح}}{\text{ح}_0} = \frac{\text{ك}_0}{\text{ك}} = 1 + \text{ء هـ}$$ ومنها يحدث

$$\text{ك}_0 = \text{ك} \, (1 + \text{ء هـ})$$ ومن الثانية يحدث

$$\frac{\text{ح}_0}{\text{ح}} = \frac{\text{ك}}{\text{ك}_0} = 1 - \text{ء هـ}$$ ومنها يحدث $\text{ك} = \text{ك}_0 \, (1 - \text{ء هـ})$

ارتفاع عمود الزيبق والارتفاع المتوسط له فى اليوم الواحد يتغير ايضا فى مدة السنة بقطع النظر عن التغيرات السريعة غير المنتظمة الناتجة من الرياح الشديدة والعواصف وعادة يكون اعظم ارتفاع عمود الزيبق نحو الساعة التاسعة صباحا ويأخذ بعد ذلك فى الانخفاض الى نحو الساعة الثالثة مساء ويعود الى أعظم ارتفاعه ثانيا نحو الساعة التاسعة مساء

س ٧٩ البارومتر المائى — اى نوع من المائع يمكن استعماله لقياس ضغط الجو ولكن كبر كثافة الزيبق تجعله اكثر موافقة لهذا الغرض فاذا استعمل الماء لزم الحال لاستعمال انبوبة كثيرة الطول وفى الواقع فانه حيث كانت كثافة الزيبق قدر كثافة الماء ٥٦٨ر١٣ مرة فارتفاع عمود الماء يلزم ان يكون مساويا الى $\frac{1}{2}$ ٣٣ قدم = ٢٣٠ر١٠ متر تقريبا

س ٨٠ تدريج البارومتر — اذا فرض أن عمود الزيبق ارتفع أعلى نقطة ه (شكل س ٧٧) فمن الواضح انه ينخفض فى د حـ اسفل نقطة حـ وحينئذ فتغير ارتفاع عمود الزيبق يساوى مجموع هذين التغيرين

واذا فرض أن م، مَ هما مساحتا قطاعى الانبوبة وأن س هو زيادة الارتفاع أعلى نقطة ب أو التغير الظاهر فحينئذ يكون مقدار الانخفاض اسفل حـ هو $\frac{م س}{مَ}$ ويكون التغير الحقيقى هو

$$س + \frac{م س}{مَ} \quad \text{أو} \quad (١ + \frac{م}{مَ}) س$$

وعلى ذلك ففى التدريج يلزم ان يكون الأبعاد المقاسة بالابتدا من نقطة الصفر معلمة كبيرة عن اصلها بمقدار النسبة

$$١ + \frac{م}{مَ} \quad \text{الى} \quad ١$$

س ٨١ ايجاد الضغط الجوى على بوصة مربعة — يمكن تعيين هذا الضغط من أول الأمر بملاحظة أنه يساوى ثقل عمود اسطوانى من الزيبق قاعدته بوصة مربعة وارتفاعه مساو لارتفاع العمود البارومترى

وحيث أن الثقل النوعى للزيبق قدر الثقل النوعى للماء ٥٦٨ر١٣ مرة فيكون الضغط الجوى على البوصة المربعة بفرض ان مقدار ارتفاع البارومتر ٣٠ بوصة على سطح البحر مساويا الى

$$\frac{٣٠ \times ١٣٫٥٦٨ \times ١٠٠٠}{١٧٢٨} \text{ اوقية} = ٧ر١٤ \text{ رطلا}$$

وهذا الضغط يختلف من وقت الى آخر ولكن هو فى الغالب بين $\frac{1}{2}$ ١٤ ، ١٥ رطلا

س ٨٢ الجو المتجانس — اذا كانت كثافة الهواء واحدة فى جميع العمود الرأسى كما هو على سطح البحر فارتفاعه يكون أقل من خمسة أميال

ولاثبات ذلك نفرض ان ى ، ك هما كثافتا الزيبق والهواء بالنسبة للماء وحينئذ فاذا كان ر ارتفاع البارومتر يكون ضغط الجو مساويا الى حـ ى ر وعلى ذلك يكون ارتفاع عمود الجو مساويا الى $\frac{ى}{ك}$ ر وقد علم ان نسبة

ى : ك :: ١٠٤٦٢ : ١ تقريبا

فحينئذ اذا فرض ان ر = ٣٠ بوصة يكون $\frac{ى}{ك}$ ر أقل بقليل من خمسة أميال

س ٨٣ ضغط كمية معلومة من الهواء فى درجة حرارة معلومة يتغير عكسيا بالنسبة للحيز الذى يشغله والبرهان التجربى لهذا القانون المنسوب الى بويل ومريوت هو ان تؤخذ انبوبة منحنية من زجاج شكل ٤٧

فرعها

ش ٤٧

فرعها القصير يمكن غلق نهايتيه ومثبتة على قائم مدرج وطرفاها مفتوحان ويصب فيها قليل من الزيبق الى ان يصير سطحه ه ه فى مستو واحد افقى ثم يغلق الطرف ا ويصب زيبق من الفوهة ب فانتأثير يحدث انضغاط الهواء فى اه والزيبق يرتفع الى ارتفاع ك الذى يكون أوطى من السطح ر للزيبق فى ب ه

وبعد غلق الطرف ا فضغط الهواء يكون مساويا لضغط الجوّ ثم بعد أن صب ثانيا مقدار من الزيبق فى الانبوبة يصير ضغط الهواء فى اك مساويا لضغط الزيبق فى ك فى السطح عينه من الفرع الطويل

وهذا الضغط الأخير يعادل الضغط الجوى على السطح ر وثقل عمود الزيبق رك فاذا توازن الحيزان اك ، اه ببعضهما بعضا بمقارنة ثقل الزيبق الممكن احتوائهما عليه وكان رَ الارتفاع المرصود فى البارومتر فانه يرى أن

$$\frac{\text{حيز اه}}{\text{حيز اك}} = \frac{\text{رَ + ك ر}}{\text{رَ}}$$

ولكن اذا فرض أن ض هو الضغط الأصلى للهواء فى اه ، ضَ ضغطه بعد الانضغاط يحدث

$$\text{ض} = \text{ح ل رَ} \quad ، \quad \text{ضَ} = \text{ض} + \text{ح ل} \times \text{رك} = \text{ح ل (رَ + رك)}$$

وحينئذ يكون

$$\text{ضَ : ض :: حيز اه : حيز اك}$$

وهذا يثبت قانون انضغاط الهواء

وللبرهان على القانون السابق فى حالة التمدد نأخذ انبوبة منحنية من زجاج ذات فرعين طويلين شكل ٤٨ ويصب فيها الزيبق لأرتفاع ده ثم يغلق الطرف ا ويحذف جزء من الزيبق من الفرع ب

ش ٤٨

وحينئذ اذا فرض ان ك ، ر هما السطحان المستجدان يحدث

$$\frac{\text{حيز اه}}{\text{حيز اك}} = \frac{\text{رَ - ك ر}}{\text{رَ}}$$

واذا فرض ان ضً هو ضغط الهواء بعد تمدده يكون

$$\text{ضً} = \text{الضغط فى ر} - \text{ح ل} \times \text{ك ر} = \text{ح ل (رَ - ك ر)}$$ أو

$$\text{ضً : ض :: حيز اه : حيز اك}$$

ويلزم الاعتناء فى كلتا الحالتين بجعل درجة الحرارة واحدة فى الابتداء وفى اثناء عمل التجربة

وينتج من ذلك حينئذ أنه من حيث ان كثافة كمية من الهواء تتغير بالنسبة العكسية للحجم فالضغط يتغير بالنسبة للكثافة

وعلى ذلك فاذا كان ه الضغط ، ك الكثافة فيكون ماذكر موضحا بالمعادلة

$$\text{ه} = \text{م ك}$$

التى فيها م كمية تعين بالتجربة

سـ٨٤ـد تأثير تغير درجة الحرارة

اذا كان الضغط ثابتا فازدياد درجة حرارة واحدة مئينية تحدث فى كتلة معلومة من الهواء تمدد قدره ٠.٠٠٣٦٦٥ من حجمها وبواسطة هذا القانون التجربى مع القانون السابق يمكن ايضاح الارتباط الواقع بين الضغط والكثافة ودرجة الحرارة لكتلة معلومة من الهواء أو من الغاز

ولذلك نتصور كمية من الهواء محصورة فى اسطوانة بواسطة مكبس شكل ٤٩ واقع عليه قوة معلومة ونفرض ان الحرارة فى درجة الصفر المئينى وحينئذ بارتفاع درجة الحرارة الى ء يرى أن المكبس يتحرك الى الخارج الى ان يزداد الحجم الأصلى ج بمقدار ٠.٠٠٣٦٦٥ × ء ج أو ا ء ج بالرمز للكسر الأعشارى بحرف ا

ش ٤٩

وعلى هذا فاذا رمز للحجم الجديد بحرف ح يكون

$$ح = ج (١ + ا ء)$$

وحينئذ اذا كان ك ، ك هما الكثافتان فى درجتى الحرارة ء ، ٠ يكون

$$\frac{١}{ك} = \frac{١}{ك} (١ + ا ء) \quad أو$$

$$ك = ك (١ + ا ء)$$

وحينئذ بناء على معادلة ض = م ك يكون

$$ض = م ك (١ + ا ء)$$

وهو الارتباط المطلوب ايجاده

سـ٨٥ـد ومقدار ا واحد تقريبا فى جميع الغازات وزيادة على ذلك فانه يبقى ثابتا تقريبا بالنسبة للضغوط المختلفة وقد بحث المعلم رينولت عن مقادير ا لجملة مواد مختلفة وقد وجد بين درجتى الصفر والمائه مثلا ان مقدار ا بالنسبة لغاز حمض الكربونيك يساوى ٠.٠٠٣٦٨٩ ثم انه قد لاحظ أيضا ان الاختلاف بين معاملى غازين يزداد بازدياد الضغط كثيرا

وهاك مقادير ا التى وجدها المعلم رينولت بالنسبة للغازات الآتية

هواء	٠.٠٠٣٦٦٥
ايدروجين	٠.٠٠٣٦٦٧
ازوت	٠.٠٠٣٦٦٨
حمض الكبريتيك	٠.٠٠٣٦٦٩
حمض الكلورايدريك	٠.٠٠٣٦٨١
سيانوجين	٠.٠٠٣٦٨٢
حمض الكربونيك	٠.٠٠٣٦٨٩

بنسعلا

٨٦ ايضاح - تأثير الحرارة فى تمدد الهواء يمكن ايضاحه بتجربة بسيطة وهى ان تؤخذ انبوبة من زجاج مفتوحة من أحدى طرفيها ومنتهية من الطرف الآخر بمستودع كروى شكل ٥٠ ثم يغمر الطرف المفتوح فى الماء ثم يسخن المستودع المذكور بواسطة لامبه فالهواء الموجود فيه يتمدد ويطرد جزء من الماء الموجود فى الانبوبة فاذا رفعت اللامبه فالهواء الداخل ينكمش ويرتفع الماء فى الانبوبة ثانيا

شكل ٥٠

٨٧ تعيين الارتفاعات بالبارومتر

قد وجد من النظريات العلمية والمشاهدة أن ارتفاع العمود البارومترى يتعلق بارتفاعه عن سطح البحر وحينئذ فيتوصل لمعرفة ارتفاع أى محل عن سطح البحر بمشاهدة البارومتر

ولذلك يقتضى انشاء قانون رابط لارتفاع البارومتر بارتفاع المحل عن سطح معلوم مثل سطح البحر

اما القانون العمومى لهذا المقصد فهو متشعب وصعب الحصول عليه بدون مساعدة حساب التكامل حيث أن الضغط الجوى يتعلق بدرجة حرارة وكثافة الهواء اللتين يتغيران بالنسبة للارتفاع ويتعلق أيضا بشدة قوة التثاقل التى تنقص بازدياد الارتفاع ومع ذلك فسنكون قانونا على فرض عدم تغير درجة الحرارة وقوة الجذب وهذا القانون يكون مفيدا عمليا لتعيين الاختلافات الصغيرة الواقعة بين الارتفاعات

٨٨ اذا فرضت جملة ارتفاعات مكونة متوالية عددية فكثافات الهواء فيها تكون متناقصة على صورة متوالية هندسية

لأنه اذا فرض عمود اسطوانى من الجوّ ذو ارتفاع معلوم ر وفرض أنه مقسم الى طبقات افقية ذات سمك واحد أعنى $\frac{\text{ر}}{\text{ن}}$ وفرض ان ل_1 ، ل_2 ، ل_3 ...... $\text{ل}_{\text{ن}}$ هو كثافات الطبقات المتوالية مأخوذة من اسفل الى أعلا بفرض ان كل طبقة من تلك الطبقات ذات كثافة واحدة وفرض ان درجة الحرارة واحدة فى جميع الطبقات المذكورة تكون الضغوط على الأسطح العلوية لكل منها هى

$$\text{م}\,\text{ل}_1 \text{ ، } \text{م}\,\text{ل}_2 \text{ ، } \text{م}\,\text{ل}_3 \text{ .... ، } \text{م}\,\text{ل}_{\text{ن}}$$

بفرض ان م هو المتغير الثابت بالنسبة لدرجة الحرارة المعتبرة

ولكن حيث أن الفرق بين أى ضغطين متواليين يلزم ان يكون مساويا لثقل الهواء المحصور بينهما فحينئذ اذا اعتبر الضغطان ن-١ ، ن يكون

$$\text{م}\,\text{ل}_{\text{ن}-1} - \text{م}\,\text{ل}_{\text{ن}} = \text{ح}\,\text{ل}_{\text{ن}-1} \times \frac{\text{ر}}{\text{ن}}$$

أو

$$\text{م}\,\text{ل}_{\text{ن}} = \left(\text{م} - \text{ح} \times \frac{\text{ر}}{\text{ن}}\right) \text{ل}_{\text{ن}-1}$$

وحينئذ يكون

$$\frac{\text{ل}_{\text{ن}}}{\text{ل}_{\text{ن}-1}} = 1 - \frac{\text{ح}\,\text{ر}}{\text{م}\,\text{ن}}$$

أعنى ان الكثافات تتناقص على حسب متوالية هندسية

س٨٩ لايجاد الفرق بين ارتفاعى محلين - نفرض ان ر هو الفرق المذكور وحينئذ فاذا رمز فى البند السابق للمقدار $١ - \frac{جـ ر}{م ع}$ بالرمز ء ولكثافة السطح السفلى لاسفل طبقة من الهواء بحرف ك يكون

$$ك_١ = ء ك ، ك_٢ = ء ك_١ .... ك_ع = ء ك_{ع-١} ، ك_{ع-١} = ء ك_{ع-٢}$$

وحينئذ يكون

$$ك_ع = ء^ع ك$$

وبفرض أن ض ، ض هما الضغطان المقابلان للكثافتين المذكورتين يكون

$$\frac{ض_ع}{ض} = ء^ع$$

فاذا كان هـ ، هـ هما الارتفاعان المرصودان فى البارومتر فى المحلين العلوى والسفلى على التناظر يكون

$$\frac{هـ'}{هـ} = \frac{ض'}{ض} = ء^ع = \left(١ - \frac{جـ ر}{م ع}\right)^ع$$

وبأخذ اللوغاريتم النيبريانى للطرفين يحدث

$$لو \frac{هـ'}{هـ} = ع \, لو \left(١ - \frac{جـ ر}{م ع}\right)$$

$$= - ع \left(\frac{جـ ر}{م ع} + \frac{١}{٢} \times \frac{جـ^٢ ر^٢}{م^٢ ع^٢} + ...\right)$$

$$= - \left(\frac{جـ ر}{م} + \frac{١}{٢} \times \frac{جـ^٢ ر^٢}{م^٢ ع} + ...\right)$$

ولكن كلما كبرت ع كلما قرب الفرض النظرى من التغير المستمر للكثافة الحقيقية للهواء وباعتبار ان ع كبيرة جدا يتحصل على المقدار التقريبي الآتى وهو

$$ر = - \frac{م}{جـ} \, لو \frac{هـ'}{هـ} = \frac{م}{جـ} \, لو \frac{هـ}{هـ'}$$

بملاحظة ان هـ يكون أصغر من هـ وبفرض ان درجة الحرارة وقوة الجذب يكونان ثابتتين فى جميع الارتفاع ر

المص

س٩٠ فعل المص هو توضيح عملى مهم لضغط الجو - والمص عبارة عن انبوبة منحنية ا ب حـ شكل ١٥ مفتوحة الطرفين وعند ملئها بالماء يغلق طرفاها ويقلب المص بوضع الطرف حـ فى الماء والطرف الآخر ا اسفله

لكن عند فتح الطرف حـ يرى أن الضغط فى ا اكبر من الضغط فى ك المساوى للضغط فى هـ المساوى لضغط الجو

وحينئذ اذا فتح الطرف ا فالماء يبتدئ ان يسيل من ا الى الخارج

وعليه فينقص الضغط داخل الأنبوبة ويحصل فراغ فى الجزء العلوى منها

ولكن اذا كان ارتفاع ب اعلى سطح الماء أقل من الارتفاع هـ للبارومتر المائى فالضغط الجوى يجبر الماء على الدخول فى الأنبوبة ويحصل سيلان مستمر من الطرف ا الى ان يحط سطح الماء عن الطرف حـ أو الى أن ينزل لغاية ما يكون انحطاطه عن ب اكبر من الارتفاع هـ اذا كان المص ذا طول كاف

س٩١ طريقة ملء وتدريج الترمومتر - لأجل ملء الترمومتر بالزئبق يربط ابتداء قمع من الورق على الطرف المفتوح ثم يصب الزئبق فيه ويسخن المستودع على لامبة كؤلية فيطرد بذلك جزء من الهواء الذى فى الانبوبة ثم

بعد المستودع فيحط الزيبق في الانبوبة ثم تكرر هذه العملية الى ان يطرح جميع الهواء ومتى ملئت الانبوبة ملأً تاما وطفا الزيبق منها يغلق الطرف العلوى بالضبط بواسطة البورى وفى أثناء التبريد بعد ذلك ينكمش الزيبق ويحط تاركا فراغا فى أعلى الانبوبة (والفراغ هنا ليس حقيقيا بل أن الجزء الذى يظهر أنه فراغ هو فى الحقيقة مملوء بأبخرة الزيبق)

وبعد ذلك تعين نقطتا التجمد والغليان فنقطة التجمد تعين بغمر المستودع و الجزء السفلى للانبوبة فى ثلج مذاب ويعلم على سطح الانبوبة من الخارج نهاية ارتفاع الزيبق فيها

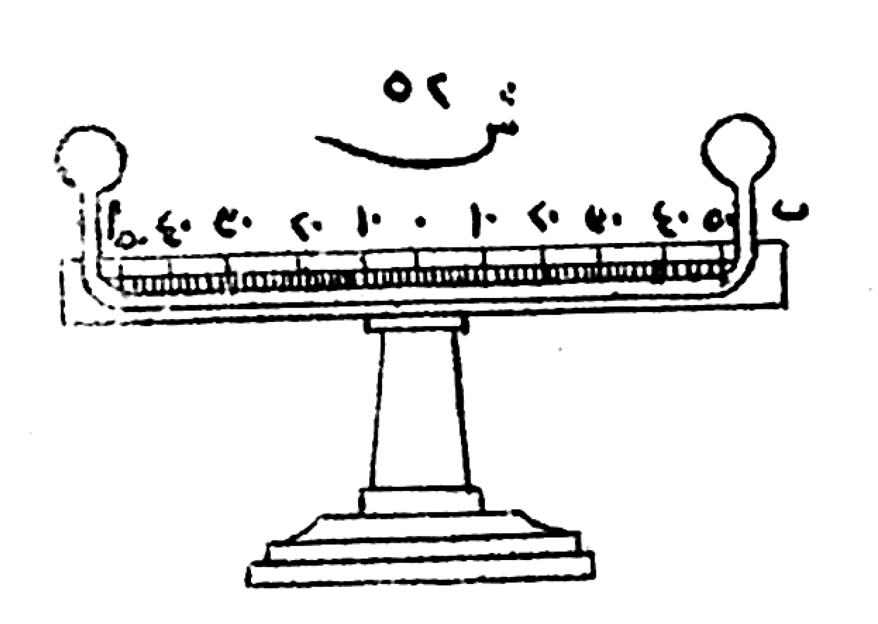
ونقطة الغليان تعين بغمر المستودع فى بخار الماء المغلى تحت ضغط جو معلوم وتعلم الانبوبة كما تقدم وحيث ان درجة حرارة البخار تتعلق بضغط الجو فيكون من الضرورى حينئذ اتخاذ ضغط معلوم والتعريف عن درجة الغليان بأنها درجة حرارة البخار فى الضغط المذكور ثم ان العمود البارومترى الذى ارتفاعه على سطح البحر ٣٠ بوصة هو الضغط المتخذ عادة فى تدريج الترمومتر ففى الترمومتر المئينى نقطة الغليان المقابلة الى ١٠٠° هى درجة حرارة البخار حينما يكون ارتفاع العمود البارومترى يساوى ٢٩٫٩٢٨ بوصة أعلى سطح البحر فى عرض ٤٥°

وبعد مضى زمن قليل من الغليان فأن ارتفاع الزيبق فى درجة التجمد يزداد تدريجا وقد وجد أنه يحتاج الى اربع أو خمس سنين لأجل ان تصل نقطة التجمد الى وضع ثابت بعد الغليان

س ٩٢ استعمال الترمومتر الزيبقى محدود — لأنه من حيث ان الزيبق يتجمد فى درجة — ٤٠ مئينية ويغلى فى درجة حرارة ٣٥٠ مئينية فيكون من الضرورى حينئذ استعمال مواد أخرى لتعيين درجات الحرارة العالية جدا أو المنخفضة جدا فيستعمل الكؤول لتعيين درجات الحرارة المنخفضة جدا وهذا السائل يستعمل غالبا فى انشاء الترمومترات ذات النهاية الصغرى

ودرجات الحرارة العالية جدا تعين بمشاهدة تمدد قضبان معدنية أو بعض مواد أخرى صلبة وقد عملت لهذا القصد آلات مختلفة تسمى بالبيرومترات

س ٩٣ الترمومتر الفرقى يصنع بصورتين مختلفتين فأحداهما التى قطاعها موضح فى شكل ٥٢ مكونة من انبوبة افقية متفرعة الى انبوبتين قصيرتين رأسيتين متجهتين الى أعلى ومنتهيتين بمستودعين كرويين متساويين فى الحجم وهذان المستودعان يحتويان على هواء والانبوبة الافقية تحتوى على جزء قليل من مائع ملون فاصل لهواء احد المستودعين عن هواء الآخر وكمية الهواء واحدة فى كلا الطرفين بحيث انه اذا كانت درجة حرارة المستودعين المذكورين واحدة تكون فقيعة



المائع ثابتة فى وسط الانبوبة واذا اختلفت درجة الحرارة فأن المائع يسكن فى وضع اقرب للمستودع الذى درجة حرارته اقل من الآخر حيث انه يكون ضغط الهواء فيه أقل من ضغطه فى الآخر

وأما الصورة الثانية للترمومتر الفرقي فهي أن الجزئين الرأسيين ا ، ب للانبوبة يمتدان الى ارتفاع أكبر كثير منا في الحالة الأولى والمائع يملأ جميع الجزء الافقي للانبوبة وكذلك يملأ بعض الاجزاء الرأسية والقاعدة التي اسس عليها كلا الترمومترين واحدة وانما الفرق فقط في تدريج الاجزاء الرأسية عوضا عن تدريج الجزء الافقي من الانبوبة

وبسبب كثرة حساسة هذه الترمومترات تكون مفيدة جدا لمعرفة الاختلافات الصغيرة جدا لدرجات الحرارة وفي تدريج النوع الثاني لهذه الآلة يلزم ان يراعى ثقل المائع في الانبوبتين الرأسيتين

١٩٤ المثال الأول — كرتان مجوفتان محتويتان على كميتين متساويتين من الهواء الجوي ونصفا قطريهما الداخليين هما نق ، نق َ ودرجتا حرارتهما هما ء ، ءَ على التناظر والمطلوب المقارنة بين الضغوط الكلية الواقعة على سطحيهما من الداخل

لذلك نفرض أن ك ، كَ هما الكثافتان وحيث ان الجسمان متساويين والحجمان بنسبة $نق^{٣} : نقَ^{٣}$ فيكون

$$ك\ نق^{٣} = كَ\ نقَ^{٣}$$

واذا كان ض ، ضَ هما الضغطان المقابلان للهوائيين المذكورين يكون

$$ض = م\ ك\ (١ + ا\ ء) \quad ، \quad ضَ = م\ كَ\ (١ + ا\ ءَ)$$

ويكون الضغطان على السطحين المذكورين هما

$$٤\ ط\ نق^{٢}\ ض \quad ، \quad ٤\ ط\ نقَ^{٢}\ ضَ$$

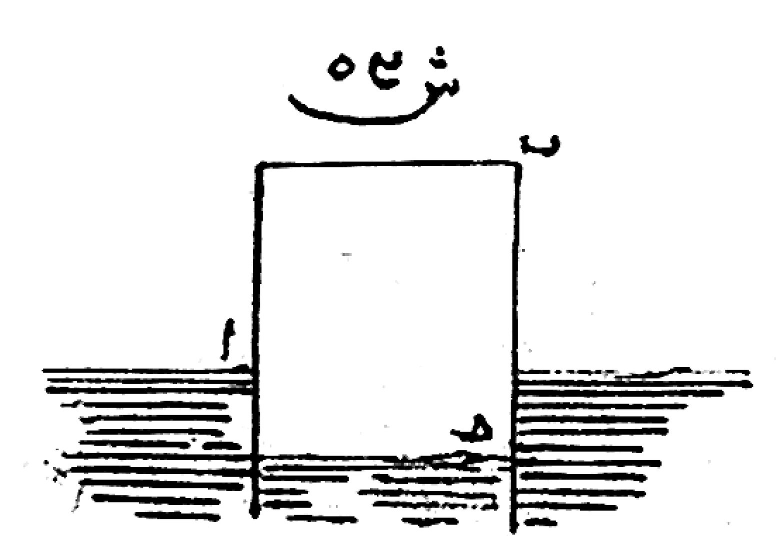
والنسبة بين هذين المقدارين كالنسبة بين

$$نق^{٢}\ ك\ (١ + ا\ ء) \quad ، \quad نقَ^{٢}\ كَ\ (١ + ا\ ءَ)$$

أو كالنسبة بين

$$نقَ\ (١ + ا\ ء) \quad ، \quad نق\ (١ + ا\ ءَ)$$

المثال الثاني — اسطوانة مجوفة مفتوحة من اعلى شكل ٥٥ قلبت وغمرت جزئيا في ماء والمطلوب تعيين ارتفاع سطح الماء داخل الاسطوانة المذكورة



لذلك نرمز للطول الكلي للأسطوانة بحرف ل ولطول الجزء غير المغمور بحرف لَ ونفرض أن س هو انخفاض السطح الداخل عن السطح الخارج وأن ض ، ضَ هما ضغطا الهواء الجوي والهواء المنضغط في ح وحينئذ يكون

$$ضَ : ض :: ل : لَ + س \qquad \text{بناء على (١٨٣)}$$

ولكن $ضَ$ = ضغط الماء على السطح ح = ض + ح ك س فيكون

$$\frac{ض + ح ك س}{ض} = \frac{ل}{لَ + س}$$

واذا فرض ان هـ هو ارتفاع البارومتر المائي يكون ض = ح ك هـ ويكون

$$\frac{هـ + س}{هـ} =$$

$$\frac{هـ+س}{هـ} = \frac{ل}{ل+س}$$ أو

$$ضَ + (لَ + هـ) س = (ل - لَ) هـ$$

ويستخرج من هذه المعادلة مقداران لمجهول س احدهما موجب والآخر سالب فالمقدار الموجب هو الذى يكون جوابا لهذه المسئلة وأما المقدار السالب فهو نتيجة مسألة أخرى منطوقها الجبرى يؤدى لنفس المعادلة ذات الدرجة الثانية التى وجدت

المثال الثالث — كمية صغيرة من الهواء تركت فى الجزء العلوى لانبوبة البارومتر والمطلوب تعيين التأثير على ارتفاع العمود البارومترى

لذلك نفرض ان ل هو طول الجزء العلوى للانبوبة المشغول بالكمية الصغيرة من الهواء حينما تكون كثافتها ككثافة الهواء الخارج ، س هو طول الجزء الذى تشغله كمية الهواء الصغيرة فى الحالة الراهنة حينما يكون ارتفاع البارومتر الحقيقى هو هـ واذا كان ض هو ضغط الهواء الخارج ، ضَ هو ضغط الهواء الموجود فى المسافة س يكون

$$\frac{ضَ}{ض} = \frac{ل}{س}$$

وبفرض أن هـَ هو ارتفاع البارومتر المختل يكون

ض = ح ك هـ ، ضَ + ح ك هـَ = ض وحينئذ يكون

$$\frac{هـ - هـَ}{هـ} = \frac{ل}{س} \quad \ldots\ldots \quad (١)$$

وحينئذ يكون نقص العمود البارومترى هو $\frac{ل هـ}{س}$ بوصة

وحيث أن $\frac{هـَ}{هـ} = ١ - \frac{ل}{س}$ بناء على معادلة (١) فيكون $\frac{ل هـَ}{س - ل}$ بوصه هو نقص العمود البارومترى

وحينئذ اذا كان ل معلوما ورصد هـَ ، س فيمكن استخراج ارتفاع البارومتر الحقيقى

وأما اذا كان ل غير معلوم فيمكن استخراجه من معادلة (١) بعد أن يعمل جملة ارصاد للمقدارين هـَ ، س وللارتفاع هـ للبارومتر الحقيقى

اختبار فى الباب الخامس

(١) ما تأثير الحرارة على قوة مرونة الهواء والغاز

(٢) اذا كانت درجة ترمومتر فرنهيت ٤٠ فما تكون الدرجة المقابلة لها فى ترمومتر ريومور وفى الترمومتر المئينى

(٣) المطلوب شرح طريقة بها يعرف أن الهواء جسم ثقيل

(٤) اذا كان ارتفاع البارومتر الزئبقى ٣٠ بوصه فما يكون ارتفاع البارومتر المكون من مائع ثقله النوعى ٦ر٥

(٥) اناء مكعب الشكل طول احد أحرفه قدم محتوٍ على هواء وضغط هذا الهواء فى اناء آخر مكعب الشكل ايضا طول أحد احرفه بوصة والمطلوب المقارنة بين مقدارى الضغطين الواقعين على وجهى الانائين المذكورين

(٦) المطلوب بيان الارتباط الواقع بين الضغط والكثافة ودرجة الحرارة لغاز — كرة قطرها قدم محتوية على هواء وضغط هذا الهواء فى كرة أخرى قطرها ٦ بوصات فازدادت درجة الحرارة ٤° درجة والمطلوب المقارنة بين ضغطى هوائى هاتين الحالتين ثم المقارنة بين الضغطين الواقعين على سطحى الكرتين المذكورتين أيضا

(٧) المطلوب شرح المص وفعله — وما هو التأثير الناتج من عمل فتحة صغيرة فى أعلى نقطة من المص

(٨) المطلوب بيان كيفية تعيين نقطة الغليان فى الترمومتر

(٩) اذا وضع البارومتر فى وضع غير رأسى فما يكون التأثير الذى يحصل فى طول عمود الزيبق

(١٠) اذا كان مجموع القراءتين فى ترمومتر فرانهيت والترمومتر المئينى صفرا لدرجة حرارة واحدة فما هى قراءة كل من الترمومترين المذكورين

(١١) اذا كان ارتفاع البارومتر ٢٥ بوصه على قمة جبل فما يكون التأثير على فعل المص فى هذا الموضع

(١٢) اذا ملئ مص بالزيبق ووضع بحيث ان فرعيه يكونان متجهين الى اسفل ونهايتاه مغلوقتان فما يكون التأثير الناتج من فتح النهايتين المذكورتين حينما يكونان فى مستو افقى واحد وحينما لم يكونان فى مستو افقى أيضا

(١٣) اناء اسطوانى محتو على ماء والمطلوب معرفة التأثير الذى يحدث من تغير ارتفاع البارومتر على الضغوط الواقعة على القاعدة وعلى السطح المنحنى للأسطوانة وما مقدار هذا التأثير

(١٤) قطعة من الخشب وزنها فى الهواء كوزن قطعة من الحديد فأيها يكون أثقل من الاخر فى الحقيقة

(١٥) المطلوب اختبار التأثيرين الناتجين من عمل فتحة صغيرة فى الفرع الطويل من البارومتر ثم فى الفرع القصير منه

(١٦) ماهى منفعة وجود الثقب الصغير الذى يعمل فى غطاء ابريق الشاى

(١٧) اذا فرض أنه صار تفريغ نصف الهواء الموجود فى نصفى كرة مجدبورج التى قطرها $\frac{1}{2}$ ١ قدم فما مقدار القوة التى تلزم لفصلها بفرض ان مقدار الضغط الجوى ١٥ رطلا على كل بوصة مربعة

(١٨) اذا وجدت قطعة زجاج على سطح الزيبق فى البارومتر فهل يكون ارتفاع الزيبق أعلى أم اسفل بسبب ذلك

(١٩) هل يحصل تغير فى فعل المص بانحطاط سطح الزيبق فى البارومتر

(٢٠) اذا كان ثقل محمول بخيط من نقطة معينة منه وغمر جزئيا فى الماء فهل كلما ارتفع الزيبق فى البارومتر شدة الخيط تزيد أم تنقص

(٢١) مثانة ملئ ثمنها بالهواء الجوى ووضعت تحت ناقوس الآلة المفرغة وكانت سعة الناقوس ضعف سعة أسطوانة المكبس والمطلوب البرهنة على انه يحصل تمام التمدد قبل انتهاء الرجة السادسة

أمثلة

(١) درجة حرارة الهواء الموجود فى ظرف قابل للتمدد ارتفعت تدريجيا الى ٥° ثم تمدد الظرف المذكور الى

الى أن صار قطره ٯ مرات قطره الأصلى والمطلوب المقارنة بين ضغطى الهواء فى كلتا الحالتين

(٢) حجم ما من الهواء ساكن غير متأثر بأدنى قوة ودرجة حرارته متغيرة وكانت درجات الحرارة فى جملة نقط منه مكونة لمتوالية عددية والمطلوب البرهنة على أن الكثافات فى هذه النقط تكون مكونة لمتوالية دفترية

(٣) ثقل معلوم من سائل مرن ثقيل درجة حرارته منتظمة حصر فى اسطوانة ملسة رأسية بواسطة مكبس ذى ثقل معلوم والمطلوب بيان طريقة تعيين حجم السائل المذكور

(٤) مجسم من الهواء درجة حرارته ى موجود فى اسطوانة مثبت فيها مكبس محكم وكان ضغط الهواء المذكور على ذلك المكبس قدره ﻫ ثم انضغط الهواء المذكور فجأة الى ان صار حجمه $\frac{1}{ٯ}$ من حجمه الأصلى وتغيرت درجة حرارته وصارت ىَ والمطلوب معرفة مقدار الضغط على المكبس المذكور

(٥) مكبس يتحرك باطلاق فى اسطوانة مغلقة غلقا محكما محورها رأسى وحينما يكون المكبس المذكور فى منتصف الاسطوانة تكون كثافتا الهواء الموجود أعلاه واسفله واحدة والمطلوب تعيين وضع توازن المكبس المذكور

(٦) اسطوانة رأسية مغلقة ملئ نصفها بالماء والنصف الآخر مشغول بهواء ذى كثافة و درجة حرارة معلومتين رفعت درجة حرارته الى ى درجات والمطلوب تعيين ازدياد الضغط الكلى على القاعدة وعلى السطح المحنى للاسطوانة المذكورة

(٧) المطلوب تعيين أعظم ارتفاع يمكن ان يرفع اليه مائع كثافته ك بواسطة مصر حينما يكون ارتفاع البارومتر ﻫ

(٨) ﻫ ، ﻫَ هما ارتفاعا سطح الزيبق فى انبوبة البارومتر أعلى سطحه فى الحوض فى وقتين مختلفين والمطلوب المقارنة بين كثافتى الهواء فى هذين الوقتين بفرض ان درجة الحرارة ثابتة

(٩) اسطوانة رأسية محتوية على هواء اغلقت بمكبس مربوط من مركزه بخيط مرن مربوط فى قاعدة الاسطوانة أيضا وأخذ الخيط المذكور طوله الحقيقى عند توازن المكبس والمطلوب تعيين التأثير الذى يحصل على طول الخيط بازدياد درجة حرارة الهواء فى الاسطوانة عدد معلوم من الدرجات

(١٠) غاصت اسطوانة تحت مستودع الآلة المفرغة الى عمق يساوى ثلاثة ارباع محورها والمطلوب تعيين التغير الذى يحصل فى عمق الانغمار عند تحول الهواء (الذى ثقله النوعى = ٠٠١٣ر٠)

(١١) جسم عائم فى سائل قلب عليه اناء مجوف وضغط على الاناء المذكور والمطلوب معرفة التأثير الذى يحدث فى وضع الجسم أولا بالنسبة لسطح السائل داخل الاناء وثانيا بالنسبة لسطح السائل الخارج

(١٢) ماسورة طولها ١٥ قدم نهايتها العليا مغلقة وضعت رأسية فى حوض ارتفاعه عين الارتفاع المذكور وملئ الحوض بالماء والمطلوب الايضاح على أنه اذا كان ارتفاع البارومتر المائى ٣٣ قدم و ٩ بوصه فالماء يرتفع ٣ قدم و ٩ بوصه فى الماسورة

(١٣) اناء على شكل منشور قاعدته مسدس منتظم ملئ بالهواء والمطلوب البرهنة على أنه اذا أمكن تحرك كل وجه مستطيل من المنشور بالطلاق حول أحرفه وضغط المنشور بحيث ان قاعدته صارت مثلثا متساوى الأضلاع فضغط الهواء الداخل يزداد بنسبة ٣ الى ٢

(١٤) كوبة مخروطية الشكل غمرت فى ماء مقلوبة والمطلوب معرفة العمق الذى تنغمر اليه بحيث ان الماء يرتفع داخلها الى نصف ارتفاعها

(١٥) اناء يحتوى على ماء فيه ظرف بجوف صلب مفتوح من قاعه ومملوء جزئيا بالهواء وهذا الظرف على وشك الغرق واغلقت فتحة الاناء بسدادة مرنة بينها وبين الماء جزء صغير مملوء بالهواء فالضغط على السدادة يغرق الظرف المذكور والمطلوب معرفة سبب ذلك

(١٦) علق بارومتر من طرفه العلوى بخيط فى اناء يحتو على ماء بحيث ان يكون جزء من الخيط المذكور مغمورا فى الماء والمطلوب تعيين ارتفاع الزيبق وشدة الخيط ثم اذا زيد الماء فى الاناء فما يكون التأثير على شدة الخيط المذكور

(١٧) مكبس ثقله يساوى الضغط الجوى الواقع على أحد وجهيه وضع فى منتصف اسطوانة مجوفة قطرها مساوٍ لقطر المكبس تاركا من الجهتين مسافة قدرها ا مملوءة بالهواء الجوى ثم غلقت الاسطوانة المذكورة ووضعت مائلة على الرأسى بزاوية قدرها ب والمطلوب البرهان على أن المكبس المذكور يسكن على بعد من وضعه الأصلى قدره ا $[(١ + قتا^٢ ب)^{\frac{1}{2}} - قتا ب]$

(١٨) اسطوانة مفتوحة الطرفين غمر جزء منها فى الماء رأسيا ثم غلق الطرف العلوى ورفعت الاسطوانة الى أن صار طرفها السفلى قريبا جدا من سطح الماء الخارج والمطلوب تعيين الارتفاع الذى يصل اليه الماء داخلها

(١٩) بارومترات متسا ويا الطول والقطاع يحتو كل منها على كمية صغيرة من الهواء وكانت قرآتاهما فى وقت ما هـ ، م وفى وقت آخر هـَ ، مَ والمطلوب المقارنة بين كميتى الهواء الموجودة فيهما

(٢٠) المطلوب تعيين وضع القضيعة من (شكل ٩٣ د) حينما تكون درجة حرارة المستودعين ٤ ، ٤َ

(٢١) المطلوب حساب الفرق بين ارتفاعى المائعين فى الانبوبتين الرأسيتين للترمومتر الفرقى فى الصورة الثانية حينما تكون درجتا حرارة المستودعين ٤ ، ٤َ

الباب السادس

ناقوس الغواص - الطلمبة المعتادة - الطلمبة الرافعة - الطلمبة الكابسة - طلمبة الحرائق - مضغط براما - الآلة المفرغة (طلمبات الهواء)

ناقوس الغواص

٩٥ - ناقوس الغواص عبارة عن اناء من حديد على شكل ناقوس كبير مفتوح من قاعه ويحتو على محلات لجلوس جملة اشخاص وثقله أكبر من ثقل الماء الذى يمكن ان يحتوى عليه وحينما يغمر فى الماء بواسطة سلسلة

ينضغط

فينضغط الهواء الموجود داخله ويمنع الماء من الارتفاع فى الناقوس زيادة عن حد معلوم والاشخاص الموجودة داخله يمكنهم النزول الى عمق عظيم بدون خطر

وحينما ينحط سطح الماء داخل الناقوس بقدر ٣٣ قدم عن السطح الخارج يمتلئ نصف الناقوس بالماء وضغط الهواء يزداد طبعا بازدياد الانحطاط والصعوبة الناتجة من هذا الانضغاط تزال بكبس هواء جديد بواسطة انبوبة قابلة للانثناء مفتوحة تحت فتحة الناقوس ويوجد ايضا طرف لاخراج الهواء بعد أن يصير غير صالح للتنفس

شدة السلسلة ـ شدة السلسلة تساوى ثقل الناقوس مطروحا منه ثقل الماء المحذوف بالناقوس وبالهواء الموجود داخله وحينئذ يتضح من ذلك انه ان لم يكبس فى الناقوس هواء جديد من الخارج فان شدة السلسلة تزداد بازدياد انخفاض الناقوس

٩٦ ـ اذا فرض ان الناقوس اسطوانى وانه لا يدخل فيه هواء من الخارج والمطلوب ايجاد الارتفاع الذى يصل اليه الماء فى الناقوس يقال

انه اذا كان الناقوس مغمورا جزئيا فيؤل الامر الى الحالة التى ذكرت فى المثال الثانى من الباب الخامس واما اذا كان الناقوس مغمورا كليا كما فى شكل ٥٤ فنرمز لطول الاسطوانة بالرمز ب ولانحطاط قاعدتها العليا عن سطح الماء الخارج بالرمز ا ولارتفاع الجزء المشغول بالهواء بالرمز س وحينئذ يكون

$$\text{ضغط الهواء الداخل} = ض \times \frac{ب}{س} = ض + دك\,(ا + س)$$

واذا كان $ض = دك\,هـ$ يكون

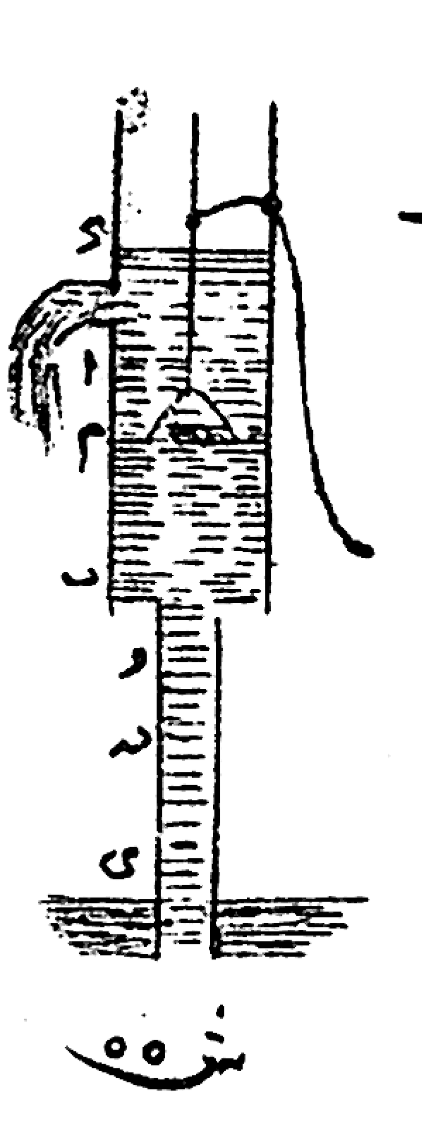
$$هـ\,ب = (هـ + ا)\,س + س^2$$

ش ٥٤

ومقدار س الموجب من هذه المعادلة هو المقدار المطلوب كما تقدم

واذا فرض ان م هى مساحة القاعدة العليا للناقوس وقطع النظر عن سمكه فحجم الماء المحذوف يكون م س وشدة السلسلة تساوى حينئذ ثقل الناقوس ـ دك م س

الطلمبة المعتادة



ش ٥٥

٩٧ ـ الطلمبة الاكثر استعمالا هى الطلمبة الماصة المبين قطاعها الرأسى فى شكل ٥٥ وفيه اب ، ب ى اسطوانتان متحدتا المحور ، م مكبس يتحرك فى المسافة اب بواسطة ساق رأسى متصل بمقبض ا ء فوهة موجودة أعلى ا بقليل ، ى سطح الماء الذى فيه ينغمر بعض الجزء الأسفل من الطلمبة ويوجد فى المكبس وفى القاعدة ب صمامان يفتحان الى أعلا

تشغيل الطلمبة ـ اذا فرض ان المكبس فى ب والطلمبة مملوءة بالهواء الجوى المعتاد فبرفع المكبس المذكور فان الهواء الموجود فى ب ى يفتح الصمام ب

ويتمدد كلما صعد المكبس ويكون ضغطه حينئذ أقل من ضغط الجو فى خارج الطلمبة وعليه فضغط الجو على سطح الماء الخارج يرفع الماء فى الماسورة ب ى الى ان يصير الضغط فى ى مساوٍ لضغط الجو

وبارتفاع المكبس يرتفع الماء فى ب ى وضغط الهواء على السطح العلوى للمكبس يجعل الصمام مغلقا حال صعود المكبس وحينما ينزل المكبس يغلق الصمام ب والهواء الموجود فى م ب ينضغط ويفتح الصمام م ويخرج منه وبتكرار هذه العملية يصعد الماء من الصمام ب وعند نزول المكبس بالثانى ينفذ الماء من الصمام م ويخرج من الفوهة ء ويستمر على ذلك

والارتفاع ب ى يلزم ان يكون أقل من الارتفاع هـ للبارومتر المائى والا فالماء لا يرتفع أبداً الى الصمام ب وليس من الضرورى أن تكون الطلمبة مركبة من اسطوانتين بل ان اسطوانة واحدة بصمام فى موضع ما أسفل أدنى نقطة من درجة المكبس تكون كافية بحيث لا يكون هذا الموضع مرتفعا عن سطح الماء الأصلى زيادة عن ٣٣ قدم وعلى أى حال يلزم ان يكون انحطاط سطح الماء الأصلى عن موضع الصمام الأسفل اقل من ٣٣ قدم والا فكمية الماء التى ترفع بالمكبس فى كل رجة تكون قليلة

والماسورتان فى الشكل مستقيمتان ولكن ذلك ليس ضروريا لتشغيل الطلمبة حيث أن الماسورة التى أسفل رجة المكبس يمكن ان تكون بأى شكل كان ويمكن ان تدخل فى الماء افقيا على بعد ما من الجزء العلوى للطلمبة

س ٩٨ شدة ساق المكبس — اذا ارتفع الماء فى ب ى الى د حينما يكون المكبس فى م فالضغط ضَ للهواء الموجود فى م د يساوى ضغط الماء فى د = الضغط فى ى — حك × د ى = ض — حك × د ى لكن اذا كانت م هى مساحة المكبس فالشدة على الساق تكون هى الفرق بين ضغط الجو الواقع على قرص المكبس من أعلى وبين الضغط ضَ م الواقع أسفله أعنى

(ض — ضَ) م أو حك × د ى × م

فاذا اخذت البوصة وحدة للطول وفرض ان هـ ارتفاع البارومتر المائى بالبوصة وأن حك هـ = ١٥ رطل تقريبا فالشدة المطلوبة تساوى ١٥ × $\frac{\text{د ى} \times \text{م}}{\text{هـ}}$ رطل

س ٩٩ لايجاد الارتفاع الذى يصل اليه الماء فى مدة رجة واحدة للمكبس نفرض ان د ، و هما سطحا الماء فى ابتداء وانتهاء رجة واحدة صعد فيها المكبس أعنى حينما يرتفع المكبس من ب الى ٢ وحينئذ فالهواء الذى كان شاغلا فى ابتداء الرجة المسافة ب د يشغل فى انتهائها المسافة ٢ و ويكون الضغطان بفرض ان ض = حك هـ على التناظر هما

حك (هـ — د ى) ، حك (هـ — و ى) وعليه يكون

هـ — د ى : هـ — و ى :: حجم ٢ و : حجم ب د

واذا كان ن ، نَ هما نصفا قطرى الاسطوانتين (شكل س ٩٧) يكون

حجم ٢ و = ط نَ² × ٢ ب + ط نَ² × ب و = ط ن² × ٢ ب + ط نَ² (ب ى — و ى) ما

حجم ب د = ط نَ² × ب د = ط نَ² (ب ى — د ى) ويكون

$\frac{\text{هـ} - \text{د ى}}{\text{هـ} - \text{و ى}} =$

$$\frac{\text{هـ} - \text{دى}}{\text{هـ} - \text{وى}} = \frac{\text{نق}^2 \times \text{اب} + \text{نق}'^2 (\text{بى} - \text{وى})}{\text{نق}'^2 (\text{بى} - \text{دى})}$$

ويستخرج من هذه المعادلة مقدار وى بالنسبة لأى مقدار يعطى الى دى

تنبيه اذا كانت رحة المكبس أقل من اب كالمسافة ال مثلا شكل ٥٦ فيلزم حينئذ ان يكون لى أقل من هـ وزيادة على ذلك فانه يوجد حد معلوم لوضع نقطة ل

لأنه اذا كان د هو سطح الماء حينما يكون المكبس م فى ا فعند نزوله ينغلق الصمام ب ولا ينفتح الصمام م الا اذا صار ضغط الهواء فى م ب أكبر من ضغط الجو وحينما يكون المكبس م فى ا فضغط الهواء اسفله يساوى حك (هـ - دى) وان لم ينفتح الصمام قبل وصول م الى ل يكون ضغط الهواء فى ل ب مساويا الى حك (هـ - دى) $\frac{\text{اب}}{\text{لب}}$ الذى يلزم ان يكون أكبر من حك هـ وحينئذ فيلزم ان يكون هـ × ال > اب × دى وعليه فلاجل التأكد من فتح الصمام حينما يكون سطح الماء اسفل ب يلزم ان يكون

هـ × ال > اب × بى

أعنى ان نسبة ال الى اب يلزم ان تكون على الاقل جزءا مساويا لنسبة بى الى هـ

ومع كون هذا الشرط ضروريا فى جميع الاحوال الا أنه يمكن ان لا يكون كافيا

لأنه اذا فرض ان م فى ا وان سطح الماء فى و ففى هذه الحالة يكون ضغط الهواء فى او مساويا الى

حك (هـ - وى)

وحينما ينزل المكبس الى ل يكون الضغط فى لو مساويا الى حك (هـ - وى) $\frac{\text{او}}{\text{لو}}$ الذى يلزم أن يكون أكبر من حك هـ وعليه يلزم ان يكون

هـ × ال > او × وى

ولكن أعظم مقدار للحاصل او × وى هو $\frac{1}{4}$ اى² ويلزم ان يكون حينئذ

هـ × ال > $\frac{1}{4}$ اى²

وحيث أن $\frac{1}{4}$ اى² أكبر من اب × بى مالم تكن ب فى منتصف اى فينتج من ذلك ان هذا الشرط الأخير يحتوى على الشرط السابق الذى يكون حينئذ غير كاف غالبا

وهذه الشروط يلزم أن تكون مستوفية أيضا فى الحالة التى تكون الطلمبة لها اسطوانة واحدة

مسئلة شدة ساق المكبس حينما تكون الطلمبة فى حالة التشغيل التام

اذا فرض فى البند السابق ان ى د = هـ فيرى أنه فى كل رحة يصعد فيها المكبس يرفع الحجم ح ل من الماء وعليه فتكون شدة الساق اثناء صعود المكبس هى ح ك (هـ + ل د) الى ان يبتدئ تصرف الماء من الفوهة

ومتى وصل المكبس الى استواء الفوهة فان الماء المرفوع يكون قد انصرف بتمامه وعند نزول المكبس تكون شدة الساق

مساوية الى حـ ك م هـ

الطلمبة الرافعة

٥٠ بواسطة هذه الآلة يمكن رفع الماء الى ارتفاع ما وهى تتركب من اسطوانتين شكل ٥٧ يتحرك فى العليا منها مكبس م وساق المكبس يمر من زناق محكم مانع لنفوذ الهواء ويوجد فى ء صمام يفتح الى الخارج ويوصل الى ماسورة رأسية وحينما يصعد المكبس رافعا الماء فينفتح الصمام ء ويرتفع الماء فى الماسورة وحينما ينزل المكبس ينغلق الصمام المذكور وحينئذ فتزداد كمية الماء فى الماسورة فى كل رجة ونهاية الارتفاع الذى يمكن أن يصل اليه الماء يتعلق بمقاومة الطلمبة وبالقوة التى يرفع بها المكبس

شدة الساق – اذا كان ى و = هـ فالمكبس يرفع الجسم د و فى كل رجة وحيث أن الهواء يكون قد طرد من الطلمبة قبل أن تشتغل تشغيلا تاما فتكون الشدة مساوية الى حـ ك م × و ف الى ان يصل الماء الى الصمام ء وعند ذلك فيلزم ازدياد القوة الواقعة على ساق المكبس الى ان ينفتح الصمام ء بضغط الماء أعنى الى أن يكون الضغط مساويا الى حـ ك (هـ + ف ء) ا ف هى سطح الماء فى الماسورة وحينئذ يصعد الماء فى الماسورة وتزداد شدة الساق بازدياد ارتفاع السطح ف

الطلمبة الكابسة

٥١ فى هذه الطلمبة شكل ٥٨ يكون المكبس م مصمت ويتحرك فى المسافة ا و ، ب ، ء صمامان يفتحان الى أعلى ، ء ف ماسورة خارجة من ا ف

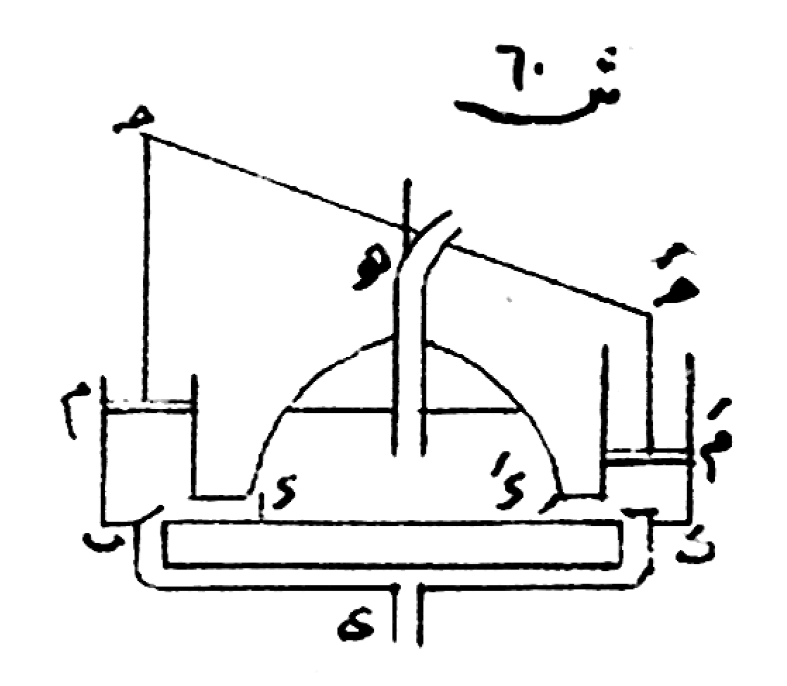
وفى ابتداء تشغيل هذه الطلمبة تشتغل كطلمبة معتادة فكلما نزل المكبس يطرد الهواء من ء ويرتفع الماء فى ى ى ومتى نفذ الماء من ب ونزل المكبس فانه يدخله من ء وعند صعود المكبس ينغلق الصمام ء وينفذ الماء أيضا من ب وينزول المكبس مرة ثانية فانه يدخل الماء أيضا من ء وهكذا ويرى من ذلك انه يمكن كبس الماء الى ارتفاع ما بحسب مقاومة الآلة وقوتها

وفى هذه الحالة يكون الماء المنصرف من فوهة الماسورة متقطعا لكن يمكن الحصول على تصرف مستمر باستعمال اناء هوائى متين ء ل شكل ٥٩ تخرج منه الماسورة الرأسية الى أعلى وبانضغاط الهواء الموجود فى الجزء العلوى من الاناء المذكور يحدث ضغطا مستمرا متغيرا على سطح الماء الموجود فيه واذا كان حجم الاناء موافقا لحجم الطلمبة ولدرجة تشغيلها فضغط الهواء لا يفقد قوته قبل ان يقع عليه ضغط جديد من الماء وحينئذ فيتحصل على وجود تصرف مستمر متغير من الماسورة الرأسية



طلمبة الحرائق

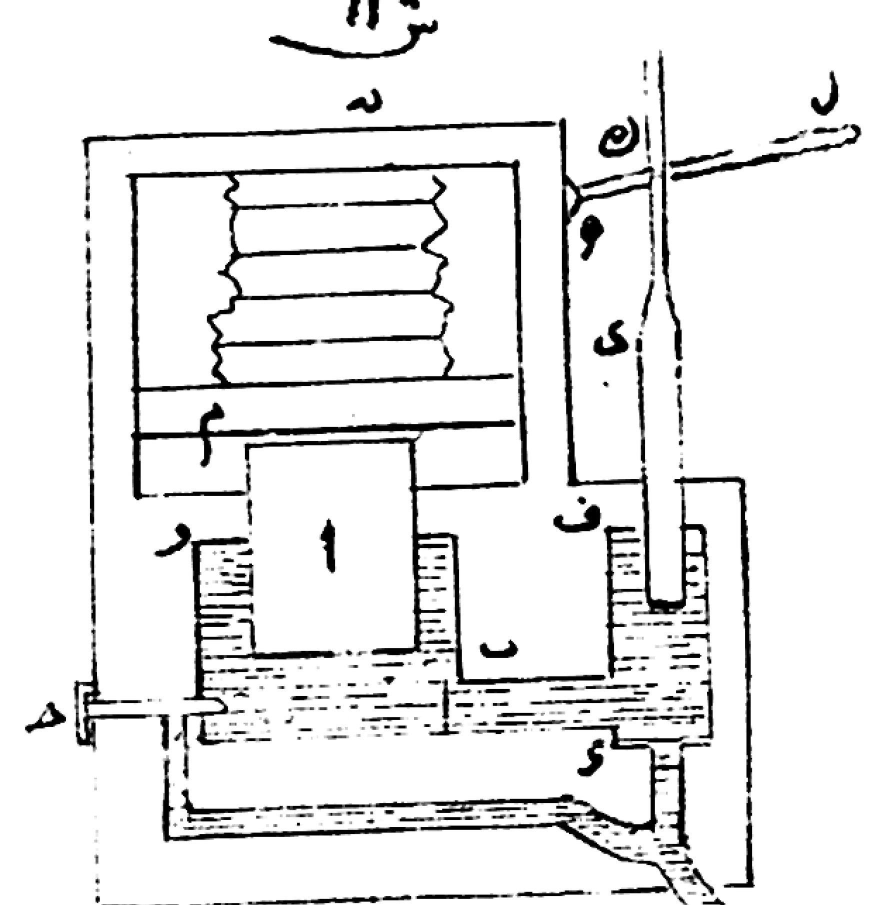
٥٢ طلمبة الحرائق شكل ٦٠ عبارة عن طلمبة كابسة ذات اناء هوائى كالطلمبة السابق وصفها وتتركب من



من اسطوانتين مستطرقتين بأناء هوائى والمكبسان يتحركان بواسطة رافعة ه و ح بحيث انه عند صعود احدهما ينخفض الآخر والماسورة الرأسية الخارجة من الأناء الهوائى متصلة بماسورة أخرى مرنة مصنوعة من الجلد وبها يمكن توجيه الماء الى أى اتجاه مّا

مضغط براما

شـ ٦١ هذه الآلة هى تطبيق على قاعدة انتقال ضغط السوائل وفى شكل ٦١ فيه القطاع الرأسى للآلة المذكورة ا ، ى مكبسان مصمتان يتحركان فى منفذين بالتحكيم ، وب ، ف ء اسطوانتان مجوفتان متينتان مستطرقتان معا بواسطة ماسورة ب ء وفى ب يوجد صمام



ينفتح الى الداخل ويوجد فى ء صمام ينفتح الى أعلى وماسورة ء واصلة لحوض به ماء ، م طبلية متحركة توضع عليها المواد المراد ضغطها ، ن حاجزمتين ، هـ ك ل رافعة تشغيل المكبس ى ، هـ نقطة ارتكازها ، ل يدها

تشغيل المضغط ـ اذا فرض ان المسافتين وب ، ف ء مملوءتان بالماء ، ى فى أدنى موضع له فبرفع ى فأن ضغط الجو يدخل ماء الحوض فى ف ء وعند نزول ى بالتالى ينغلق الصمام ء وينفتح الصمام ب ويدخل جزء من الماء الموجود فى ف ء داخل وب ويرتفع حينئذ المكبس ا وبالاستمرار على هذا المنوال يحصل على انضغاط المادة بين م ، ك بقدر مايراد ويوجد فى ح حنفية تفتح بعد تمام الانضغاط

القوة المتحصلة ـ اذا كانت ق هى القوة الواقعة على يد الرافعة فتكون القوة الواقعة على ى من أسفل الى أعلا مساوية الى $ق \times \frac{هـ ل}{هـ ك}$

واذا فرض ان نق ، نقَ هما نصفا قطرى الأسطوانتين ى ، ا ، قَ هو ضغط الماء بالنسبة للوحدة السطحية يكون

$$ط نق^٢ قَ = ق \times \frac{هـ ل}{هـ ك}$$

ويكون الضغط على ا مساويا الى

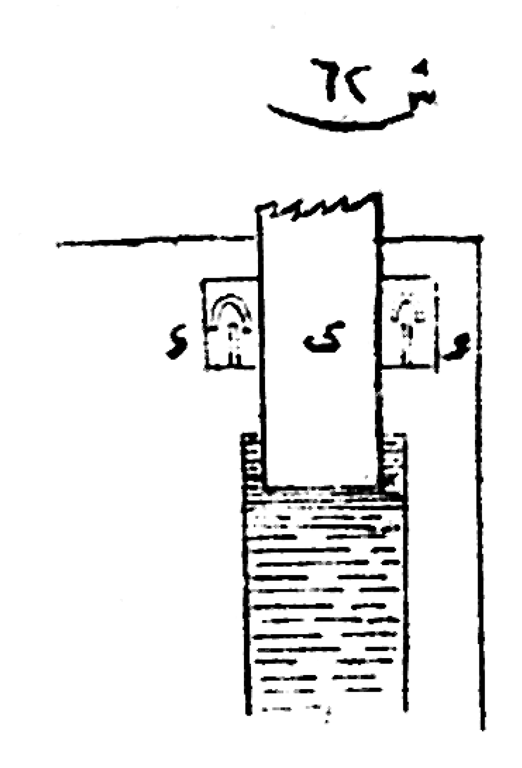
$$ط نقَ^٢ قَ = ق \times \frac{هـ ل}{هـ ك} \times \frac{نقَ^٢}{نق^٢}$$

ويرى من ذلك أنه بازدياد النسبة الكائنة بين نقَ ، نق يمكن الحصول على أى ضغط مّا

قد سلمنا فى شرح تشغيل المضغط أن الأسطوانتين فى مبدأ الأمر كانتا مملوءتين بالماء فاذا لم يكن الأمر كذلك فأن الماء يمتص من الحوض بفعل المكبس ى ومهما كان هناك من الهواء داخل الآلة فأنه ينضغط الى أن يصير ضغطه مساوٍ لضغط الماء

وقد استعملت مضاغط من هذا القبيل فى رفع الكبرى البريطانى الى محله على بوغاز مينى

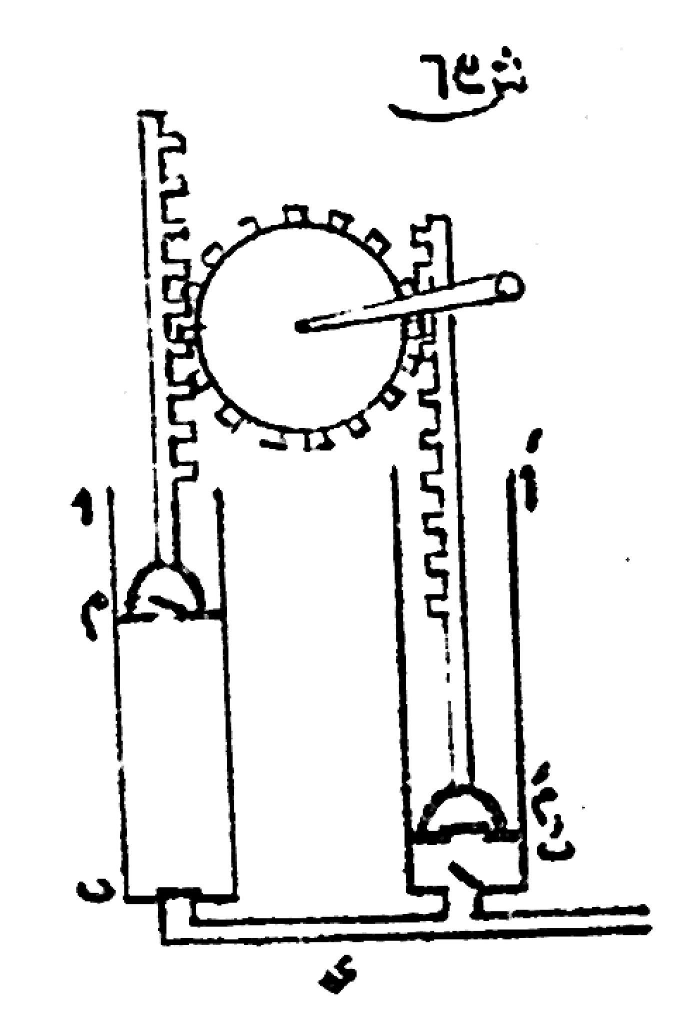
شـ ٦٢ الجزء ى من الآلة يسمى أحيانا بمكبس الطلمبة وأن الأمر المهم فى هذه الآلة هو تحكيم الزناقين و ، ف لأنه بدون ذلك ينفذ الماء المنضغط من خلال المكبس والأسطوانة المجوفة المتحرك فيها ذلك المكبس ولذلك تعمل فتحة ءو حول المكبس كما فى شكل ٦٢ ويوضع فيها قطعة من الجلد ملتفة على حلقة معدنية كما فى



الشكل الذى هو عبارة عن القطاع الرأسى للمكبس والزناق الذى يرى منه أن الماء الضاغط على الجلد من اسفل الى أعلا يجعله ملامسا للسطح الجانبى للمكبس وكلما زاد الضغط المذكور يزداد التماس حتى أنه لا يمكن نفوذ الماء مطلقا الا اذا تمزق الجلد المذكور

الآلة المفرغة (طلمبة الهواء) المنسوبة الى هوكسى

بند ١٠٧ هذه الآلة تتركب من اسطوانتين ا ، أ (شكل ٦٣) مستطرفتين بحوض هوائى بواسطة الماسورة ى المتصلة بالماسورتين ب ، ت ومن مكبسين م ، م′ يتحركان فى الاسطوانتين المذكورتين بواسطة طارة مسننة ويوجد فى ب ، ت وفى المكبسين صمامات تنفتح جميعها الى أعلى



فاذا فرض ان م فى أعلى موضع له وأن م′ فى أدنى موضع له وصار تدوير الطارة المسننة الى ان ينخفض م ويرتفع م′ فالصمام ب ينغلق وبانضغاط الهواء الموجود فى م ب يخرج من الصمام م وعند ذلك يكون الصمام م′ مغلقا وينفذ جانب من الهواء الموجود فى الحوض الهوائى من ت داخل م′ ت

وبدوران الطارة ونزول المكبس م′ ينغلق الصمام ت والهواء الموجود فى م′ ت ينفذ من م′ وعند ذلك يكون الصمام م مغلقا وينفذ جانب من الهواء الموجود فى الحوض من ب ويرى من ذلك أنه فى كل رجة للمكبس يخرج جزء من الهواء الموجود فى الحوض وبالاستمرار على ذلك يتحصل على درجة تفريغ نهايتها تمدد بثقل الصمام الذى يلزم رفعه بضغط الهواء أسفله

فاذا فرض أن ا هو حجم الحوض الهوائى وأن ب هو حجم كل من الاسطوانتين وأن ك هى كثافة الهواء الجوى وأن $ك_1$ ، $ك_2$ ، $ك_3$ ..... ، $ك_ه$ هى كثافات الهواء فى الحوض بعد انخفاض المكبس فى المرة الأولى والثانية والثالثة ..... وهكذا الى ه

فبعد الرجة الأولى فان الهواء الذى كان شاغلا للحجم ا يشغل الحجم ا + ب وعليه يكون

$$ك_1\,(ا+ب) = ك\,ا$$

وبالمثل يكون

$$ك_2\,(ا+ب) = ك_1\,ا \quad \text{أو}$$

$$ك_2\,(ا+ب)^2 = ك\,ا^2$$

وبعد رجات عددها ه يكون

$$ك_ه\,(ا+ب)^ه = ك\,ا^ه$$

وحينئذ اذا كان $ض_ه$ رمزا لضغط الهواء فى الحوض بعد رجات عددها ه ، ض رمزا لضغط الهواء الجوى فانه يكون

$$\frac{ض_ه}{ض} = \frac{ك_ه}{ك} = \left(\frac{ا}{ا+ب}\right)^ه$$

وفى

وفي تشغيل هذه الآلة تكون القوة المطلوبة هي القوة التي يلزم ان تتغلب على الاحتكاك مضافا اليه فرق الضغطين الواقعين على أسفل المكبس حيث أن الضغطين الواقعين على سطحها العلويين متساويان

وقديرى انه لايمكن الحصول على فراغ تام لهذه الآلة انما حيث أن الكثافة تتناقص على حسب متوالية هندسية بازدياد عدد الرجات فيمكن اخراج مقدار عظيم من الهواء اذا كانت الآلة مصنوعة باعتناء كاف

اختبار في الباب السادس

(١) انزل ناقوس الغواص الى أن صار سطح الماء الداخل منحط عن سطح الماء الخارج بقدر ٦٦ قدما والمطلوب معرفة مقدار انضغاط الهواء بالتقريب

(٢) اذا عملت فتحة صغيرة في ظهر ناقوس الغواص فهل يدخل فيه الماء أو يخرج منه الهواء

(٣) المطلوب شرح الطلمبة المعتادة — ولأى ارتفاع يرتفع اليه الزيبق بواسطة الطلمبة

(٤) المطلوب معرفة الفرق بين الطلمبة الرافعة والطلمبة الكابسة وذكر القاعدة التي تؤسس عليها طلمبة الحريق

(٥) اذا كان في مضغط براما ه ك = بوصة واحدة ، ه ل = ٤ بوصات وقطر ا = ٤ بوصات أيضا وقطر ى = نصف بوصة فما مقدار القوة التي تقع على ا بتوقيع قوة قدرها رطلين على ل

(٦) اذا كان مستودع الهواء قدر اسطوانة طلمبة الآلة المفرغة اربع مرات فما عدد الرجات التي بعدها تنقص كثافة الهواء النصف

(٧) المطلوب بيان الحد الذي تصل اليه درجة الفراغ المستنتجة من الآلة المفرغة

(١١)(*) اذا كان قطر مكبس الطلمبة الرافعة يساوى قدم واحد ورجة المكبس تساوى قدمين ونصف وعدد رجاته ثمانية في كل دقيقة فما مقدار ثقل الماء الذي ترفعه الطلمبة المذكورة في كل دقيقة بفرض ان أعظم ارتفاع للمكبس عن سطح الخزان أقل من ٣٣ قدم وان ارتفاع البارومتر المائي ٣٣ قدما

(١٢) اذا كان المكبس عند وصوله الى أوطى نقطة من رجته مرتفعا عن سطح الخزان بمقدار ٣١٫٥ قدم فما مقدار ثقل الماء الذي ترفعه الطلمبة المذكورة في الدقيقة الواحدة

امثلة

(١) اذا كانت النسبة الكائنة بين المستودع واسطوانة طلمبة الآلة المفرغة تساوى ٤:١ فما مقدار الهواء الذي يسير تفريغه الى نهاية الرجة الخامسة

(٢) ما التأثير الذي يحصل على شدة حبل ناقوس الغواص بفتح زجاجة (صودا وتر) داخل الناقوس المذكور

(٣) اذا كان ه ثقل ناقوس الغواص ، ث ثقل كمية من الماء حجمها كحجم مادة الناقوس ، ث ثقل كمية

(*) لم نذكر المسائل من ٨ الى ١٠ حيث ان المواد الموقوف عليها تلك المسائل لم تدرس ومحذوفة

من الماء حجمها مساوٍ لحجم الناقوس من الداخل فما هو البرهان على أنه اذا كان الناقوس خفيفا بحيث لا يمكن انغماره بدون قوة يكون وضع توازنه غير ثابت اذا انضغط الى أن صارت النسبة الكائنة بين ضغط الهواء الداخل وبين ضغط الجو كنسبة ث : ه ـ قَ (راجع المثال الرابع في الملحقات)

(٤) اذا غمر ناقوس غواص اسطواني ارتفاعه خمسة اقدام الى أن صار انحطاط ظهره عن سطح التوازن ٥٥ قدما فما مقدار المسافة التي يشغلها الهواء داخله بفرض أن ارتفاع البارومتر المائي ٣٣ قدما ـ وما مقدار الهواء الذي يلزم ضغطه داخل الناقوس لطرد الماء بتمامه

(٥) بعد عدد كثير من رجات مكبس الآلة المفرغة كان ارتفاع الزئبق في البارومتر ٣٠ بوصة وكانت اسطوانة المكبس ثلث المستودع والمطلوب البرهان على أنه بعد ثلاث رجات يصير ارتفاع الزئبق ٢/٣ ١٢ بوصة تقريبا

(٦) انبوبة رفيعة من زجاج طرفها العلوي مغلق قلبت وغمر طرفها المفتوح في حوض زئبق داخل مستودع مكثف وكان طول الانبوبة المذكورة ١٥ بوصة وظهر بعد نزول المكبس ثلاث مرات أن الزئبق ارتفع خمس بوصات فما يكون ارتفاع الزئبق المذكور اذا كان المكبس قد نزل أربع مرات (مع اعتبار ان ارتفاع البارومتر ٣٠ بوصة)

(٧) ناقوس غواص اسطواني حجمه الداخل ح قدما مكعبا قد غمر بحيث ارتفع الماء داخله بقدر ١/م من ارتفاعه ثم استمر الناقوس في النزول بسرعة منتظمة قدرها ع قدما في الثانية الواحدة والمطلوب البرهان على ان عدد الاقدام المكعبة من الهواء الذي ضغطه كضغط الجو اللازم ادخالها في كل ثانية بحيث يكون الماء حافظا دائما لارتفاع واحد داخل الناقوس هو (١ - ١/م) ع/ه ح بفرض ان ه هو ارتفاع البارومتر المائي بالاقدام

(٨) اذا كان طول ماسورة الامتصاص لطلمبة معتادة اعلى سطح الماء عشرة اقدام وان قطاع فارغ الماسورة العليا اربعة امثال قطاع فارغ الماسورة السفلى وكان ارتفاع البارومتر المائي ٣٣ قدما فما هو البرهان على أنه اذا وصل الماء الى الماسورة العليا عند انتهاء الرجة الأولى للمكبس يكون طول الرجة مساويا ٥/٧ ٣ قدم تقريبا

(٩) اذا كان مستودع الآلة المفرغة موضوع على سائل فيه جسم عائم فكيف تحسب كثافة الهواء الذي يكون في المستودع المذكور بعد رجة واحدة للمكبس

(١٠) ناقوس غواص اسطواني ارتفاعه ٢ مصحوب ببارومتر غمر في سائل وكان ارتفاع الزئبق في البارومتر قبل وبعد الانغمار ه ، هَ على التناظر والمطلوب البرهان على أن انحطاط ظهر الناقوس عن سطح السائل يكون مساويا للمقدار (ث/ثَ + ٢/ه) (هَ - ه)
بفرض ان ث الثقل النوعي للزئبق ، ثَ الثقل النوعي للسائل

(١١) انبوبة منحنية ذات فرعين رأسيين احدهما مفتوح والآخر مغلق ملئ جزء منها بالزئبق وكانت كثافة الهواء المحصور بين الزئبق وبين النهاية المغلقة للانبوبة المذكورة مساوية في مبدأ الأمر لكثافة الهواء الخارج

للخارج ووضعت هذه الانبوبة داخل مستودع الآلة المفرغة والمطلوب ايجاد قانون به يتعين الفرق بين ارتفاعى الزيبق فى فرع الانبوبة المذكورة بعد رجات عددها هـ للمكبس

(١٢) اذا كانت أعلى نقطة يصل اليها مكبس طلمبة معتادة موجودة اسفل المنفذ الذى ينصب منه الماء فما مقدار اعظم شدة واقعة على ساق المكبس

(١٣) المعلوم سمة وثقل صمام مكبس طلمبة الآلة المفرغة والمطلوب معرفة النقطة التى ينفتح فيها الصمام اثناء نزول المكبس فى المرة التى عددها هـ

(١٤) اذا كان هـ طول رجة مكبس طلمبة الآلة المفرغة ، ا بعده عن الحافة العليا للأسطوانة عندما يكون فى أعلى وضع له ، ب بعده عن قاع الاسطوانة المذكورة عندما يكون فى ادنى وضع له ، ك كثافة الهواء الجوى فما هو البرهان على أن النهاية التى تصل اليها درجة كثافة الهواء داخل المستودع تكون مساوية للمقدار

$$\frac{ا ب}{(هـ + ب)(هـ + ا)} ك$$

الباب السابع

طريقة تعيين الاثقال النوعية — الاثقال النوعية للهواء والماء — الميزان الايدروستاتيكى — الايدرومتر المعتاد

المقارنة بين الاثقال النوعية للهواء والماء

س ٢٢١ — للمقارنة بين الاثقال النوعية للهواء والماء تؤخذ زجاجة كبيرة يمكن سدها سدا محكما بحنفية ويصير تفريغها من الهواء بواسطة الآلة المفرغة

ثم توزن هذه الزجاجة فارغة وبعد ذلك يصير ادخال الهواء فيها وتوزن ثانيا ثم يجرى وزنها مملوءة بالماء

فاذا فرض أن ث ثقل الزجاجة المذكورة فارغة وأن ثَ ، ثً ثقلها مملوءة بالهواء ثم بالماء على التوالى يكون

ثَ ـ ث = ثقل الهواء الذى احتوت عليه الزجاجة

ثً ـ ث = ثقل الماء الذى احتوت عليه أيضا

وحينئذ يكون ثَ ـ ث ، ثً ـ ث هما ثقلا حجمين متساويين من الهواء والماء ويكون

الثقل النوعى للماء : الثقل النوعى للهواء :: ثً ـ ث : ثَ ـ ث

وبالطريقة عينها يمكن المقارنة بين الثقل النوعى لأى غاز وبين الثقل النوعى للماء

ثم ان الثقل النوعى للماء فى درجة ٥ر٠° قدر الثقل النوعى للهواء فى درجة الصفر ٧٦٨ مرة تحت ضغط ٩ر٢٩ بوصة من الزيبق فى درجة الصفر

للمقارنة بين الثقلين النوعيين لسائلين بواسطة ثقلى حجمين متساويين منهما

نفرض أن ث ثقل الزجاجة ، ثَ ثقلها مملوءة بأحد السائلين (١) ، ثً ثقلها مملوءة بالسائل الآخر (٢) فيكون

ثَ ـ ث = ثقل السائل (١) الذى احتوت عليه الزجاجة)

ثً ـ ث = ثقل السائل (ب) الذى احتوت عليه الزجاجة أيضا

وحينئذ يكون

$$\frac{\text{الثقل النوعى للسائل (١)}}{\text{الثقل النوعى للسائل (ب)}} = \frac{\text{ثَ ـ ث}}{\text{ثً ـ ث}}$$

فاذا لم تستفرغ الزجاجة عند تعيين وزنها يلزم لزيادة الضبط أن يطرح من ث ثقل الهواء الذى احتوت عليه

س١٢٣ لتعيين الثقل النوعى لجسم بجزء الى اجزاء صغيرة توضع تلك الاجزاء فى زجاجة ثم تملأ الزجاجة المذكورة بالماء ويفرض ان ثقلها فى هذه الحالة هو ثً ثم يفرض ان ث هو ثقل الزجاجة المذكورة مملوءة بالماء فقط ان ثَ هو ثقل الجسم المذكور فى الهواء وحينئذ يكون

ثً ـ ث = ثقل الاجزاء ـ ثقل الماء المحذوف بها

= ثَ ـ ثقل الماء المحذوف

وعليه يكون

ثَ + ث ـ ثً = ثقل الماء المحذوف وحينئذ يكون

$$\frac{\text{الثقل النوعى للجسم}}{\text{الثقل النوعى للماء}} = \frac{\text{ثَ}}{\text{ثَ + ث ـ ثً}}$$

واذا راعينا الهواء المحذوف بالجسم فيكون الثقل الحقيقى للجسم اكبر من ثَ بقدر ثقل الهواء المحذوف وهذا الثقل يلزم حينئذ ان يضاف على ثَ

الميزان الأيدروستاتيكى

س١٢٤ الميزان الايدروستاتيكى هو ميزان معتاد احدى كفتيه أصغر من الاخرى واقرب الى القب من الأولى كما فى شكل ٦٤ كى يمكن ان نعلق بها الاثقال التى تغمر فى الماء

وكيفية استعمال الميزان المذكور توضح بالمثالين الآتيين

المثال الأول ـ للمقارنة بين الثقلين النوعيين لجسم ومائع نفرض ان ث هو ثقل الجسم فى الهواء ثم نضع المائع فى اناء كافى التكل ونعلق الجسم فى كفة الميزان

ثم نفرض ان ثَ هو ثقل الجسم فى المائع المذكور فحينئذ يكون ث ـ ثَ هو الثقل الذى فقده الجسم فى المائع ويكون حينئذ هو ثقل المائع المحذوف بالجسم بناء على س٤٤

ش ٦٤

وحيث ان ث ، ث ـ ثَ هما ثقلا حجمين متساويين من الجسم والمائع فيكون

الثقل النوعى للجسم : الثقل النوعى للمائع :: ث : ث ـ ثَ

واذا راعينا الهواء المحذوف بالجسم فيلزم ان نضيف ثقله الى ث حيث ان الثقل الحقيقى للجسم كان قد نقص بقدر ثقل الهواء المذكور

ويلزم

ويلزم الاعتناء بهذه الملحوظة ايضا فى البندين الآتيين

١٢٥ قد فرضنا فيما تقدم ان ثقل الجسم اثقل من ثقل المائع لكن اذا كان اخف منه فيلزم ان يلصق به جسم ثقيل ذو حجم وثقل كافيين لامكان انغمارهما معا فى المائع

فاذا فرض أن ث هو ثقل الجسم المفروض فى الهواء وان س هو ثقل الجسم الثقيل الملتصق به فى الهواء ، سَ هو ثقل الجسم الثقيل فى المائع ، ثً هو ثقل الاثنان معا فى المائع يكون

ث + س - ثً = ثقل المائع المحذوف بالجسمين المذكورين معا حيث انه هو الثقل المفقود ،

س - سَ = ثقل المائع المحذوف بالجسم الثقيل وحده وعليه يكون

ث + سَ - ثً = ثقل المائع المحذوف بالجسم المفروض وحده ويكون

الثقل النوعى للجسم / الثقل النوعى للمائع = ث / (ث + سَ - ثً)

١٢٦ المثال الثانى — للمقارنة بين الثقلين النوعيين لمائعين نأخذ جسما وزنه يكون اثقل من كل من المائعين ونفرض ان ث ثقله فى الهواء

وان ثَ ثقله فى احد المائعين (ا)

، ثً ثقله فى المائع الآخر (ب) فيكون

ث - ثَ = ثقل المائع (ا) المحذوف بالجسم ،

ث - ثً = ثقل المائع (ب) المحذوف بالجسم المذكور وعليه يكون

الثقل النوعى للمائع (ا) / الثقل النوعى للمائع (ب) = (ث - ثَ) / (ث - ثً)

الايدرومتر المعتاد

١٢٧ — يتركب الايدرومتر المعتاد من ساق مستقيم منته بكرتين مجوفتين ب و حـ شكل ٦٥

ويصنع الايدرومتر عادة من الزجاج والكرة حـ تكون مثقلة بكيفية بحيث يمكن ان تعوم الآلة المذكورة رأسية

وحينما يغمر الايدرومتر ويعوم فى مائع فانه يحذف من المائع المذكور بقدر ثقله ويرصد وضع التوازن فى مائعين مختلفين ليتعين الحجمان المحذوفان منهما ويمكن حينئذ المقارنة بين الثقلين النوعيين للمائعين المذكورين

وحينئذ اذا فرض ان م هى مساحة قطاع الساق وان ح هى حجم الايدرومتر عائما فى المائع (ا) كان ء من الساق فى سطح المائع وانه لما كان عائما فى المائع (ب) كان ى من الساق المذكور فى سطح المائع وفرض ان ثْ ، ثً هما الثقلان النوعيان للمائعين (ا) ، (ب) على التناظر يكون

ث = ثْ (ح - م × اء) ،

ث = ثً (ح - م × اى)

وعليه يكون

$$\frac{ث}{ث'} = \frac{ح - م \times ١ ى}{ح - م \times ١ ى'}$$

اختبار في الباب السابع

(١) جسم أخف من الماء وزنه خمسة ارطال لصقت معه قطعة من معدن وكان وزنهما معه معاً في الماء سبعة ارطال والمطلوب المقارنة بين الثقلين النوعيين للجسم المفروض والماء.

(٢) جسم وزنه ٥٠ رطلا يزن ١٦ رطلا في مائع (١) ، ١٨ رطلا في مائع (ب) والمطلوب المقارنة بين الثقلين النوعيين للمائعين (١) ، (ب)

(٣) الحجم الكلي للايدرومتر خمس بوصات مكعبة وقطر ساقه ⅛ بوصة وقد عام الايدرومتر المذكور في مائع (١) وبقي من ساقه اعلى سطح المائع المذكور بوصة واحدة ثم عام في مائع (ب) وبقي من ساقه اعلى سطح المائع المذكور بوصتان والمطلوب المقارنة بين الثقلين النوعيين للمائعين (١) ، (ب)

(٦)(*) ما مقدار حجم الفلين الذي ثقله النوعي ٢٤ر. اللازم لأن يلصق بقطعة حديد وزنها ستة ارطال وثقلها النوعي ٧٫٦ بحيث يمكن أن تعوم في الماء على وشك الغرق

(٧) جسم يزن ٥٠٠ قمحه في الفراغ ويزن ٤٠ قمحه في الماء ، ٥٠ قمحه في الكؤل والمطلوب تعيين الثقلين النوعيين للجسم المذكور والكؤل

(٩) اذا كان وزن قطعة معدنية في الفراغ أزيد من وزنها في الماء بمقدار ٢٠٠ قمحه وأزيد من وزنها في الكؤل بمقدار ١٦٠ قمحه فما يكون الثقل النوعي للكؤل

(١٠) قطعة معدنية تزن ١٥ أقية في الماء لصقت بقطعة من خشب وزنها ٢٠ أقية في الفراغ وكان وزن الاثنين معاً في الماء عشرة أواق والمطلوب تعيين الثقل النوعي للخشب

أمثلة

(١) قطعة من الخشب تزن ٥٧ رطلا في الفراغ لصقت بسبيكة من الفضة وزنها ٤٢ رطلا وكان وزن الاثنين معاً في الماء ٣٨ رطلا والمطلوب تعيين الثقل النوعي للماء ٢ وان الثقل النوعي للفضة ١٠٫٥٠

(٢) جسم ثقيل وزنه في الماء اربعة امثال وزن قطعة مادية في الفراغ ووزن الجسم والقطعة معاً في الماء ثلاث امثال وزن القطعة المادية المذكورة في الفراغ والمطلوب البرهان على ان الثقل النوعي لتلك القطعة هو ٥ر.

(٣) صندوق معدني مكعب الشكل مجوف لطول أحد احرفه بوصة واحدة وسمكه $\frac{1}{18}$ بوصة يكون على وشك الغرق في الماء اذا لصقت بقاعه قطعة من الفلين حجمها ٣٤ر٤ بوصة مكعبة وثقلها النوعي ٢٥ر. والمطلوب تعيين الثقل النوعي لمعدن الصندوق المذكور

(*) لم نذكر المسائل (٤) ، (٥) ، (٨) حيث انها مؤسسة على مواد لم تدرس للتلامذة

(٤) قطعة

(٤) قطعة من الملح تزن في الهواء ٦,٣ قمحه وحينما تغطى بشمع ثقله النوعي ٠,٩٦ يكون الثقل الكلي في الهواء ٨,٢٢ قمحه وفي الماء ٣,٠٢ قمحه والمطلوب تعيين الثقل النوعي لقطعة الملح المذكورة

(٧)(*) خاتم مركب من ذهب والماس وفصين متساويين من الياقوت يزن ٤٤ ½ ويزن في الماء ٣٨ ¾ قمحه وحينما يحذف أحد الفصين المذكورين ينقص ثقله في الماء قمحتان والمطلوب تعيين ثقل الألماس من بعد معلومية ان الثقل النوعي للذهب ١٦ ½ وللماس ٣ ½ وللياقوت ٣,٠

(٨) اذا كان ثمن الجالون(٢) من شراب نقي ثقله النوعي ٠,٩٧٥ هو ١٦ شلن فما يكون ثمن الممزوج المكون من الشراب المذكور والماء الذي يكون ثقله النوعي ٠,٩٨ بفرض أن الثقل النوعي للماء ١

(٩) اذا فرضت أن مادة خفيفة كثافتها ك قد وزنت باثقال كثافتها كَ وكانت كثافة الجو هي الوحدة حينما يكون البارومتر على ارتفاع ٣٠ بوصه فما هو البرهان على أنه اذا انخفض زئبق البارومتر بوصة واحدة يرى أن المادة تتغير بمقدار $\frac{كَ - ك}{(ك - ١)(٣٠ كَ - ٢٩)}$ من ثقلها الأول – وهل في هذه الحالة يكون هذا التغير بالزيادة أو بالنقص

(١٠) زجاجة ثقيلة ملئت بسائل (١) ووزنت في كل من السائلين (ب) (حـ) وظهر أن الثقلين الظاهرين لها هما ثَ١ ، حـ١ ثم بعد ذلك ملئت بالسائل (ب) ووزنت في كل من السائلين (حـ) (١) وظهر أن الثقلين الظاهرين لها هما ح٢ ، ب٢ ثم ملئت بالسائل (حـ) ووزنت في كل من السائلين (١) (ب) وظهر ان الثقلين الظاهرين لها هما ح٣ ، ب٣ والمطلوب البرهان على أن

$$ثَ_١ + ح_٢ + ح_٣ = حـ_١ + ب_٢ + ب_٣$$

الملحقات

ولنشتغل الآن بحل المسئلتين الآتيتين لأهميتهما فنقول

(١) مركز الضغط – يمكن إيجاد قاعدة عمومية لانحطاط مركز ضغط أي سطح مستو ولذلك يقسم السطح المذكور بمستقيمات افقية الى جملة اجزاء صغيرة جداً ونفرض أن ١ هي مساحة أحد هذه الاجزاء ، ر انحطاطه عن سطح المائع فحينئذ يكون

الضغط عليه = حـ ك ر ١

واذا فرض ان رَ هو انحطاط مركز الضغط للسطح المفروض يتحصل من القانون المعتاد لمركز القوى المتوازية أن

$$رَ = \frac{مج\ حـ ك ر ١ \times ر}{مج\ حـ ك ر ١} = \frac{مج\ (ر^٢ ١)}{مج\ (ر ١)}$$

لأن حـ ك مج (ر ١) هو الضغط الكلي على السطح المفروض

(*) قد حذف السؤالان (٥) ، (٦) حيث انهما مؤسسان على مواد لم تدرس للتلامذة

(٢) حجم الجالون من الماء يزن عشرة أرطال انجليزي

مثال ـ اذا كان مثلث متساوى الساقين مغمورا رأسيا بحيث أن قاعدته افقية ورأسه ا منخفض عن السطح بقدر ى كما فى شكل ٦٦ وكان المطلوب ايجاد مركز الضغط نفرض أن

اى = هـ وأن ا م = ن × هـ/ن ، م مَ = هـ/ن

بفرض أن الخط اى مقسم الى اجزاء متساوية عددها ن فيكون

م مَ = ٢ ن × هـ/ن ظا ١/٢ ا ، ر = ى + ن هـ/ن

وعليه يكون

مج (ر ٢) = مج [(ى + ن هـ/ن)^٢ × ٢ ن هـ^٢/ن^٢ ظا ١/٢ ا]

ثم نأخذ المجموع من ن = ١ الى ن = ن وحينئذ يلزم تحليل الطرف الثانى فيحدث

مج (ر ٢) = ٢ هـ^٢/ن^٢ ظا ١/٢ [ى^٢ مج (ن) + ٢ى هـ/ن مج (ن^٢) + هـ^٢/ن^٢ مج (ن^٣)]

وفى هذه الحالة مج (ن) = ١/٢ ن (ن + ١) ،

مج (ن^٢) = ن^٢/٢ + ن^٣/٣ + ن/٦ ،

مج (ن^٣) = [ن (ن + ١)/٢]^٢

وعليه يكون

مج (ر ٢) = ٢ هـ^٢/ن^٢ ظا ١/٢ [ى^٢ (ن^٢ + ن)/٢ + ٢ى هـ (ن/٢ + ن^٢/٣ + ١/٦) + هـ^٢ (ن + ١)^٢/٤]

وبجعل ن عددا غير محدود يحدث

مج (ر ٢) = ٢ هـ^٢ ظا ١/٢ (ى^٢/٢ + ٢/٣ ى هـ + هـ^٢/٤)

وبالمثل يكون

مج (ح ك ٢ ر) = الضغط الكلى = ح ك هـ^٢ ظا ١/٢ (ى + ٢/٣ هـ)

وحينئذ فيكون

انحطاط مركز الضغط = (ى^٢ + ٤/٣ ى هـ + هـ^٢/٢) / (ى + ٢/٣ هـ) = (٦ى^٢ + ٨ى هـ + ٣هـ^٢) / (٦ى + ٤هـ)

(٢) فى المثال الثانى من شكل يمكن ايجاد اتجاه محصلة ضغط السائل بالطريقة الرسمية

ولذلك نفرض أن وح شكل ٦٧ الذى هو ارتفاع المخروط منقسم الى جملة اجزاء صغيرة متساوية قدر كل منها ن نَ وتمر بنقط التقاسيم مستويات افقية فتقسم نصف سطح المخروط الى جملة مناطق نصف دائرية

ثم نفرض ان و ن هو نصف قطر احدى هذه المناطق فحينئذ يكون الضغط على أى نقطة من المنطقة أو محصلة الضغوط على المنطقة مارا بالنقطة ف من المحور لأن ن ف هو العمودى لسطح المخروط فى نقطة ن وزيادة على ذلك فالضغط على المنطقة يتغير بالنسبة لتغير البعد و ن (اى بعد سطح المنطقة) أو يتغير بالنسبة الى و ن × ن نَ

أو

أو بالنسبة الى وه × ه ح

ولكن اذا كان وَ ك هو العمودى للسطح فى نقطة وَ فالحاصل وه × ه ح يتغير بالنسبة الى وَه × ه ح أو

بالنسبة الى ك ف × ف ح

ثم اذا جعل ك ح قطرا ويرسم عليه كرة وفرض أن ف كَ هو احداثى الكرة وعمودى على ك ح يكون

$$\text{ك ف} \times \text{ف ح} = \overline{\text{ف كَ}}^{\,٢}$$

وحينئذ يكون الضغط على المنطقة متغيرا بالنسبة الى $\overline{\text{ف كَ}}^{\,٢}$

وعلى ذلك فيمكن ايجاد مركز القوى المتوازية المؤثرة فى جميع نقط الخط ف ك والمناسبة لمساحات قطاعات الكرة المارة بهذه النقط

ومن الواضح ان ذلك المركز يكون فى مركز ثقل الكرة ويكون حينئذ هو منتصف الخط ك ح

واتجاه المحصلة ر س شكل ٦٨ يمر حينئذ بنقطة المنتصف ر وفى الاتجاه الذى يعلم بالمعادلة

$$\text{طا ى} = \frac{\text{ط}}{٢}\,\text{طا ا}$$

السابق ايجادها فى المثال الثانى المذكور التى فيها ى هى ميل ر س على الأفق

وتكون س حينئذ هى مركز الضغط ولايجاد وضعها يقال أن

$$\text{طا ى} = \frac{\text{م ر}}{\text{م س}} = \frac{\text{ح ر} - \text{م ح}}{\text{م ح} \times \text{طا ا}} \quad \text{ويكون}$$

$$\frac{\text{ح ر}}{\text{م ح}} - ١ = \frac{\text{ط}}{٢}\,\text{طا}^{٢}\,\text{ا} \quad \text{أو}$$

$$\text{م ح} = \frac{\text{ح ر}}{١ + \frac{\text{ط}}{٢}\,\text{طا}^{٢}\,\text{ا}}$$

ولكن

$$\text{ر ح} = \tfrac{١}{٢}\,\text{ك ح} = \tfrac{١}{٢}\,\text{وَ ح قا ا} \quad \text{فيكون}$$

$$\text{س ح} = \text{م ح قا ا} = \frac{\tfrac{١}{٢}\,\text{وَ ح} \times \text{قا}^{٢}\,\text{ا}}{١ + \frac{\text{ط}}{٢} \times \text{طا}^{٢}\,\text{ا}}$$

وهو المطلوب

تم

